

GROLIMUND + PARTNER AG
UMWELTECHNIK + BAUPHYSIK + INFORMATIK
THUNSTRASSE 101a + 3006 BERN
T 031 356 20 00 + F 031 356 20 01
WWW.GROLIMUND-PARTNER.CH
BERN@GROLIMUND-PARTNER.CH



BERICHT

BELAGSAKUSTISCHE MESSUNGEN (CPX)

AUF 6 MA-BELÄGEN AUF DEM AUOBAHNVIADUKT KERZERS

Ihre Kontaktperson: Erik Bühlmann
erik.buehlmann@grolimund-partner.ch
T 031 356 20 06

I:\A4054\BERICHT\Abgabe2016\20160720ber_Wirkungsanalyse_KerzersGussasphalte.docx

ASTRA
A4054, Projekt-Nr. ASTRA 2009/007
22. Juli 2016

IMPRESSUM

PROJEKTTEAM

- + Erik Bühlmann
- + Tina Saurer
- + Emanuel Hammer

Version	Datum	Autoren	Beschrieb	Verteiler
V 1.0	22.07.2016	Emanuel Hammer	Endfassung	ASTRA

ZUSAMMENFASSUNG

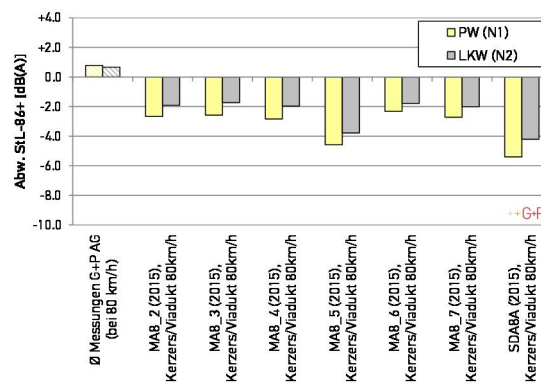
Auftrag

Auf einem Streckenabschnitt auf dem Autobahnviadukt Kerzers wurden im Jahr 2015 sechs Gussasphaltbeläge und ein SDA8 Belag eingebaut. Im Auftrag des ASTRA wurden CPX-Messungen sowie belagsakustische Wirkungsanalysen durchgeführt.

Die Gesamtlänge der beurteilten Teststrecke beträgt ca. 810 m.

Akustische Wirkung

- + Im Streckenmittel erreicht der MA 8 H 2/4 Alox akustische Belagsgütewerte von -2.7 dB(A) in Abweichung zum Modell StL-86+ für PW und zwischen -1.9 dB(A) für LKW.
- + Im Streckenmittel erreichen die MA 8 H 2/4 Wyss akustische Belagsgütewerte zwischen -2.8 und -2.5 dB(A) in Abweichung zum Modell StL-86+ für PW und -2.0 bis -1.5 dB(A) für LKW.
- + Im Streckenmittel erreicht der MA 8 H 2/4 Scoral akustische Belagsgütewerte von -4.6 dB(A) in Abweichung zum Modell StL-86+ für PW und -3.8 dB(A) für LKW.
- + Im Streckenmittel erreichen die MA 8 H 2/4 Famsa akustische Belagsgütewerte von -2.7 bis -2.3 dB(A) in Abweichung zum Modell StL-86+ für PW und -2.0 bis -1.8 dB(A) für LKW.



Einfluss Abstreuerungen

- + Im Gegensatz zu anderen lärmarmen Belägen zeichnen sich alle untersuchten Abstreuerungen durch positive Textur (konvex) aus. Obwohl in der Regel konkave Texturen als lärm mindernd eingestuft werden, werden mit allen eingesetzten Abstreuerungen Eigenschaften für lärmarme Beläge erreicht.
- + Alle Abstreuerungen weisen tiefe Luftströmungswiderstandswerte auf, welche üblicherweise bei porösen Asphaltbelägen gemessen werden. Bei den untersuchten Abstreuerungen werden die tiefen Luftströmungswiderstandswerte sehr wahrscheinlich durch die konvexe Textur und damit verbundenen Zwischenräume erreicht.
- + Die Unterschiede in den verschiedenen Abstreuerungen bezüglich der lärmreduzierenden Wirkung sind auf Textureigenschaften und nur marginal auf Luftströmungseigenschaften zurückzuführen.
- + Der MA 8 H 1.4/2.8 Scoral ist im Vergleich zu den anderen Gussasphaltbelägen vor allem in den Frequenzen < 630 Hz sehr leise (zwischen 2 bis 4 dB leiser). Dies liegt sehr wahrscheinlich an der feineren Oberflächentextur sowie an der günstigeren Kornform/-struktur.

Einfluss Walzen

- + Dieselbe Abstreuerung ohne Walzen ist im Mittel um -0.4 dB leiser.
- + Momentan ist keine Aussage über den Effekt des Einbaus mit bzw. ohne Abwalzen möglich. Es ist weiterzufolgen ob sich in Zukunft durch die Verkehrsbeanspruchung stärkere Unterschiede ergeben werden.

INHALT

1.	AUFTRAG	5
2.	MESSSTRECKEN	6
3.	DURCHFÜHRUNG DER MESSUNGEN	8
3.1	CPX-Messungen	8
3.2	Schallabsorption PU	8
3.3	Oberflächeneigenschaften	9
4.	ERGEBNISSE	10
4.1	Akustische Güte im Quervergleich in Abweichung STL-86+	10
4.2	Akustische Frequenzanalyse Reifen-Fahrbahn-Geräusch	11
4.3	Akustische Homogenität	14
4.4	Akustischer Unterschied vor/nach Inverkehrsetzung	16
4.5	Wirkungsanalysen und Interpretation	18
5.	SCHLUSSFOLGERUNGEN	20
6.	KOMMENTARE ZU DEN MESSERGEBNISSEN	21
	ANHANG	
1	Methoden	22
2	Messverfahren Oberflächeneigenschaften	25
3	Analysen Belagsakustik	27
4	Erläuterungen zu den Darstellungen und Tabellen	28
5	Angaben zu den Messungen und Messgeräten	30
6	Übersichtskarten Messungen CPX	31
7	Messprotokolle	33
8	Faktenblätter	40

1. AUFTRAG

Auf einem Streckenabschnitt auf dem Autobahnviadukt Kerzers wurden im Jahr 2015 sechs Gussasphaltbeläge und ein SDA8 Belag eingebaut. Im Auftrag des ASTRA wurden CPX-Messungen sowie belagsakustische Wirkungsanalysen durchgeführt.

Die lärmreduzierende Wirkung im Vergleich zum Emissionsmodell StL-86+ wird mittels CPX Messungen ermittelt. Durch belagsakustische Wirkungsanalysen und dem Einsatz des SPERoN Modells (Prognosetool für die akustischen Eigenschaften von Strassenbelägen aufgrund von Belagsparametern) können Aussagen über die Wirksamkeit der Beläge bezüglich der Reduktion von Vibrations- und Luftströmungsgeräuschen, der Eindämmung von Hohlraumresonanzen, sowie der schallabsorbierenden Wirkung gemacht werden. Akustische Wirkungsanalysen ermöglichen Unterschiede der akustischen Wirkung zwischen einzelnen Belägen zu erklären oder Ursachen für die akustische Veränderung der Beläge über Zeit zu finden. Belagsakustische Wirkungsanalysen liefern somit wichtige Informationen für eine nachhaltige weitere akustische Optimierung von leisen Strassenbelägen.

Als Grundlage für die belagsakustischen Wirkungsanalysen wurden neben den Rollgeräuschmessungen mit dem CPX-Verfahren ebenfalls Messungen der Schallabsorptions- und der Oberflächeneigenschaften der Testbeläge durchgeführt. Die Ergebnisse der durchgeführten Messungen und Analysen werden im vorliegenden Bericht präsentiert.

2. MESSSTRECKEN

In der nachfolgenden Abbildung ist die geografische Lage der Messstrecke dargestellt. In der zugehörigen Tabelle ist die CPX-Messstrecke mit dem gemessenen Belagstyp, dessen Einbaujahr sowie der Streckenlänge aufgelistet.

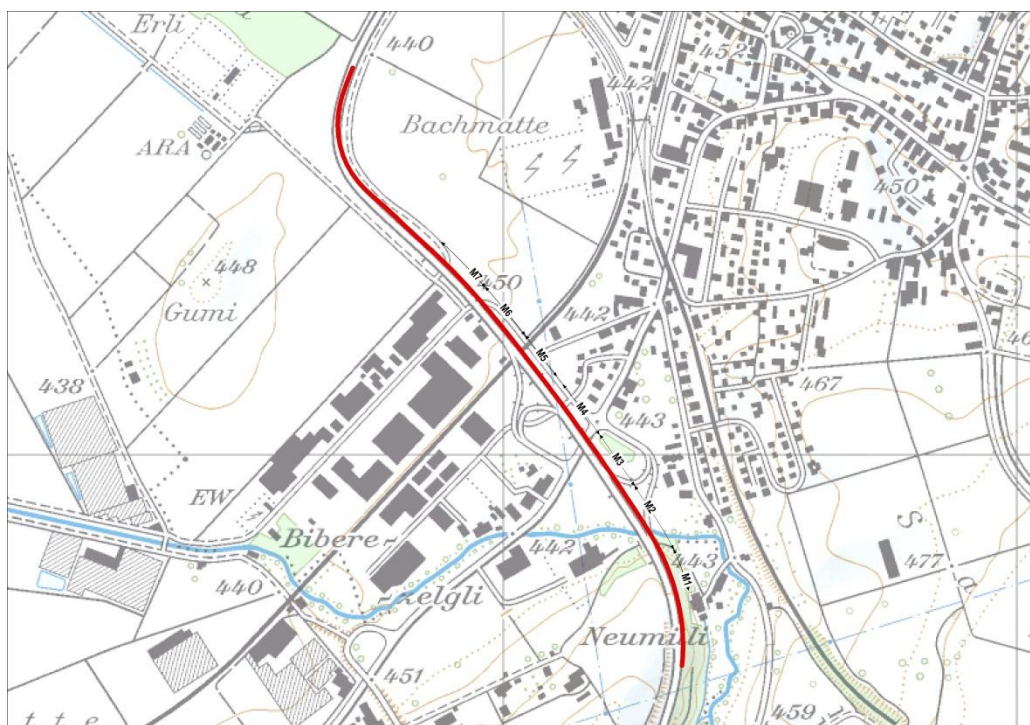


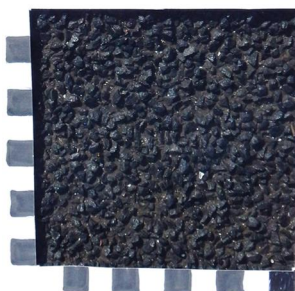
Abbildung 1: Geografische Lage der Messstrecke

Die Gesamtlänge der beurteilten Teststrecke beträgt ca. 810 m. Gemessen wurde in zwei Richtungen.

Ort	Bezeichnung	Belag	Einbaujahr	Länge [m]
Kerzers/Viadukt	MA8_2	MA 8 H 2/4 Alox mit Walzen	2015	140
Kerzers/Viadukt	MA8_3	MA 8 H 2/4 Wyss mit Walzen	2015	130
Kerzers/Viadukt	MA8_4	MA 8 H 2/4 Wyss ohne Walzen	2015	100
Kerzers/Viadukt	MA8_5	MA 8 H 1.4/2.8 Scoral mit Walzen	2015	120
Kerzers/Viadukt	MA8_6	MA 8 H 2/4 Famsa mit Walzen	2015	120
Kerzers/Viadukt	MA8_7	MA 8 H 2/4 Famsa ohne Walzen	2015	120
Kerzers/Viadukt	SDA8A	SDA8A	2015	80

Tabelle 1: Belagsdaten und Streckenlängen der gemessenen Belagsabschnitte

MA 8 H 2/4 Alox mit Walzen



MA 8 H 2/4 Wyss mit Walzen



MA 8 H 2/4 Wyss ohne Walzen



MA 8 H 1.4/2.8 Scoral mit Wal-
zen



MA 8 H 2/4 Famsa mit Walzen



MA 8 H 2/4 Famsa ohne Walzen



SDA8A (2015)



Tabelle 2: Fotos des Belagszustands zum Zeitpunkt der CPX-Messung

3. DURCHFÜHRUNG DER MESSUNGEN

3.1 CPX-MESSUNGEN

Die Messung wurden mit einer Referenzgeschwindigkeit von 80 km/h durchgeführt. Pro Reifentyp wurden mindestens zwei Messfahrten vorgenommen. Bei zwei Reifentypen (PW und LKW) entspricht dies mindestens vier Messfahrten pro Fahrspur.

3.1.1 ZEITPUNKT DER MESSUNGEN

Die Messfahrten wurden am Dienstag, den 19.04.2016 zwischen 15:00 und 19:00 Uhr absolviert.

3.1.2 WITTERUNG

Zum Zeitpunkt der Messung war es im Bereich der Messstrecke windstill und niederschlagsfrei. Die Fahrbahn war trocken. Es herrschten Lufttemperaturen zwischen 15.9°C und 16.3°C (Messung auf 1.5 m Höhe).

3.1.3 STÖRGERÄUSCHE

Besondere Störgeräusche, beispielsweise durch besonders laute Vorbeifahrten von LKWs, Traktoren oder durch verkehrende Flugzeuge etc., traten während der Messung nicht auf.

3.1.4 KALIBRIERUNG

Die akustischen Messgeräte wurden vor Beginn der Messung mit dem Akustikkalibrator kalibriert. Die Kalibrierung wurde in Messpausen und am Ende der Messung wiederholt und überprüft. Dabei ergaben sich keine Abweichungen.

3.2 SCHALLABSORPTION PU

Pro Testbelag wurde an einem ausgewählten Analysequerschnitt eine Messsequenz mit 15 Messungen à 5 Sekunden durchgeführt und ausgemittelt. Eine Messsequenz setzte sich dabei aus 5 Messungen in der rechten Radspur, 5 Messungen in der Fahrbahnmitte (zwischen den Radspuren) und 5 Messungen in der linken Fahrspur zusammen.

3.2.1 ZEITPUNKT DER MESSUNGEN

Die Messungen wurden am 19.04.2016 zwischen 12:00 Uhr und 15:00 Uhr durchgeführt.

3.2.2 WITTERUNG

Zum Zeitpunkt der Messungen war es im Bereich der Messstrecke windstill und niederschlagsfrei. Die Fahrbahn war trocken. Es herrschten Lufttemperaturen zwischen 15.9 und 16.3°C (Messung auf 1.5 m Höhe).



3.2.3 STÖRGERÄUSCHE

Besondere Störgeräusche, beispielsweise durch besonders laute Vorbeifahrten von LKW, Traktoren oder durch verkehrende Flugzeuge etc. waren während der Messungen nicht aufgetreten.

3.2.4 KALIBRIERUNG

An jedem Messstandort wurde vor den Messungen eine Kalibrierungsmessung durchgeführt.

3.3 OBERFLÄCHENEIGENSCHAFTEN

Im Auftrag von G+P AG wurden am Analysequerschnitt des jeweiligen Testbelags folgende Messungen der Oberflächeneigenschaften von IMP Bautech AG durchgeführt:

- + 1 Lasertexturmessungen à 20 Parallelprofilen mit 2m Länge in der rechten Radspur,
- + 3 Luftströmungswiderstandsmessungen an unterschiedlichen Stellen in der rechten Radspur.

3.3.1 ZEITPUNKT DER MESSUNGEN

Die Lasertextur- und Luftströmungswiderstandsmessungen wurden von IMP Bautech AG am Dienstag, den 19.04.2016 durchgeführt.

3.3.2 WITTERUNG

Zum Zeitpunkt der Messungen war es im Bereich der Messstrecke windstill und niederschlagsfrei. Die Fahrbahn war seit mehreren Tagen trocken. Es herrschten Lufttemperaturen von ca. 16°C.

4. ERGEBNISSE

Im weiteren Verlauf des Berichts werden die Messergebnisse dokumentiert. In Anhang 4 befinden sich die Übersichtspläne mit den CPX-Messergebnissen pro Fahrzeugkategorie in Abweichung zum Modell StL-86+. Anhang 5 enthält die Messprotokolle pro Fahrspur in beiden Richtungen.

4.1 AKUSTISCHE GÜTE IM QUERVERGLEICH IN ABWEICHUNG STL-86+

Die nachfolgende Tabelle enthält die mittels Regressionsmodell umgerechneten Belagsgütwerte in Abweichung zum Modell StL-86+. Es handelt sich hierbei um arithmetische Belagsgütermittelwerte.

Bez.	Belag	Einbaujahr	Belagsgütwerte Abw. StL-86+ [dB(A)]		Mischverkehr bei 8% Schwer- verkehrsanteil [dB(A)]
			PW (N1)	LKW (N2)	
MA8_2	MA 8 H 2/4 Alox mit Walzen	2015	-2.7	-1.9	-2.3
MA8_3	MA 8 H 2/4 Wyss mit Walzen	2015	-2.5	-1.5	-2.0
MA8_4	MA 8 H 2/4 Wyss ohne Walzen	2015	-2.8	-2.0	-2.4
MA8_5	MA 8 H 1.4/2.8 Scoral mit Walzen	2015	-4.6	-3.8	-4.2
MA8_6	MA 8 H 2/4 Famsa mit Walzen	2015	-2.3	-1.8	-2.1
MA8_7	MA 8 H 2/4 Famsa ohne Walzen	2015	-2.7	-2.0	-2.4
MA8_1	SDA8A	2015	-5.4	-4.2	-4.8
Ø Messungen G+P AG (bei 80 km/h)			+0.8	+0.7	+0.7

Tabelle 3: CPX-Streckenmittelwerte pro Fahrzeugkategorie in Abweichung zum Modell StL-86+

Kommentar:

- + Im Streckenmittel erreicht der MA 8 H 2/4 Alox akustische Belagsgütwerte von -2.7 dB(A) in Abweichung zum Modell StL-86+ für PW und zwischen -1.9 dB(A) für LKW.
- + Im Streckenmittel erreichen die MA 8 H 2/4 Wyss akustische Belagsgütwerte zwischen -2.8 und -2.5 dB(A) in Abweichung zum Modell StL-86+ für PW und -2.0 bis -1.5 dB(A) für LKW.
- + Im Streckenmittel erreicht der MA 8 H 2/4 Scoral akustische Belagsgütwerte von -4.6 dB(A) in Abweichung zum Modell StL-86+ für PW und -3.8 dB(A) für LKW.
- + Im Streckenmittel erreichen die MA 8 H 2/4 Famsa akustische Belagsgütwerte von -2.7 bis -2.3 dB(A) in Abweichung zum Modell StL-86+ für PW und -2.0 bis -1.8 dB(A) für LKW.
- + Der SDA8A Belag auf dem Viadukt in Kerzers erreicht in Abweichung zum Emissionsmodell StL-86+ im Streckenmittel akustische Belagsgütwerte von -5.4 dB(A) für PW und -4.2 dB(A) für LKW.
- + Die im vorliegenden Auftrag gemessenen Gussasphaltbeläge fallen im Vergleich zu den bisher von G+P AG mit der CPX-Methode auf Nationalstrassen erfassten Strecken (ca. 2'700 km) für PW um -5.4 bis -3.1 dB(A) leiser aus. Für LKW fallen die Beläge um -4.5 bis -2.2 dB(A) leiser aus.
- + Bei Mischverkehr mit einem Schwerverkehrsanteil von 8% erfüllen alle Beläge das Kriterium für lärmarme Beläge von -1 dB(A) in Abweichung zum Modell StL-86+.

4.2 AKUSTISCHE FREQUENZANALYSE REIFEN-FAHRBAHN-GERÄUSCH

Abbildung 2 enthält die Frequenzanalyse des Rollgeräuschpegels aus den CPX-Messungen für PW-Reifen und LKW-Reifen (Erläuterungen zur Darstellung siehe Anhang 2). Es handelt sich hierbei um Streckenmittelwerte, die im Vergleich zu einem weitverbreiteten Standardbelag als Referenz (SMA 11 Belag, ein Jahr nach Einbau) in der Grafik aufgetragen sind.

Kommentar:

- + Bei allen MA 8 H Belägen auf dem Viadukt in Kerzers nehmen die Reifen-Fahrbahn-Geräusche für PW im Vergleich zur Referenzsituation (SMA 11 Belag) vor allem im hohen (H) Frequenzbereich, wo die Luftströmungsgeräusche dominieren, ab. Für LKW fällt die Reduktion etwas geringfügiger aus.
- + Bei allen MA 8 H Belägen in Kerzers nehmen die Reifen-Fahrbahn-Geräusche für PW im Vergleich zur Referenzsituation (SMA 11 Belag) im tiefen (T) Frequenzbereich zu. Für LKW fällt diese Zunahme etwas geringer aus.
- + Im Vergleich zu den MA 8 H 2/4 Belägen, zeigt der MA 8 H 1.4/2.8 Belag mit der Scoral Abstreuerung leicht geringere Reifen-Fahrbahn-Geräusche für PW im tieferen (T) Frequenzbereich sowie im Bereich der Peak-Frequenz.
- + Die Form des Spektrums der Reifen-Fahrbahn-Geräusche des SDA 8 A Belages verhält sich ähnlich wie zur Referenzsituation (SMA 11 Belag). Aufgrund der semi-dichten Rezeptur nehmen die Reifen-Fahrbahn-Geräusche für PW im Vergleich zur Referenzsituation (SMA 11 Belag) vor allem im hohen (H) als auch im mittleren (M) Frequenzbereich ab. Für LKW fällt die Reduktion etwas geringfügiger aus.

Insgesamt deuten die Spektren der MA 8 H Beläge auf gute Luftströmungseigenschaften hin.

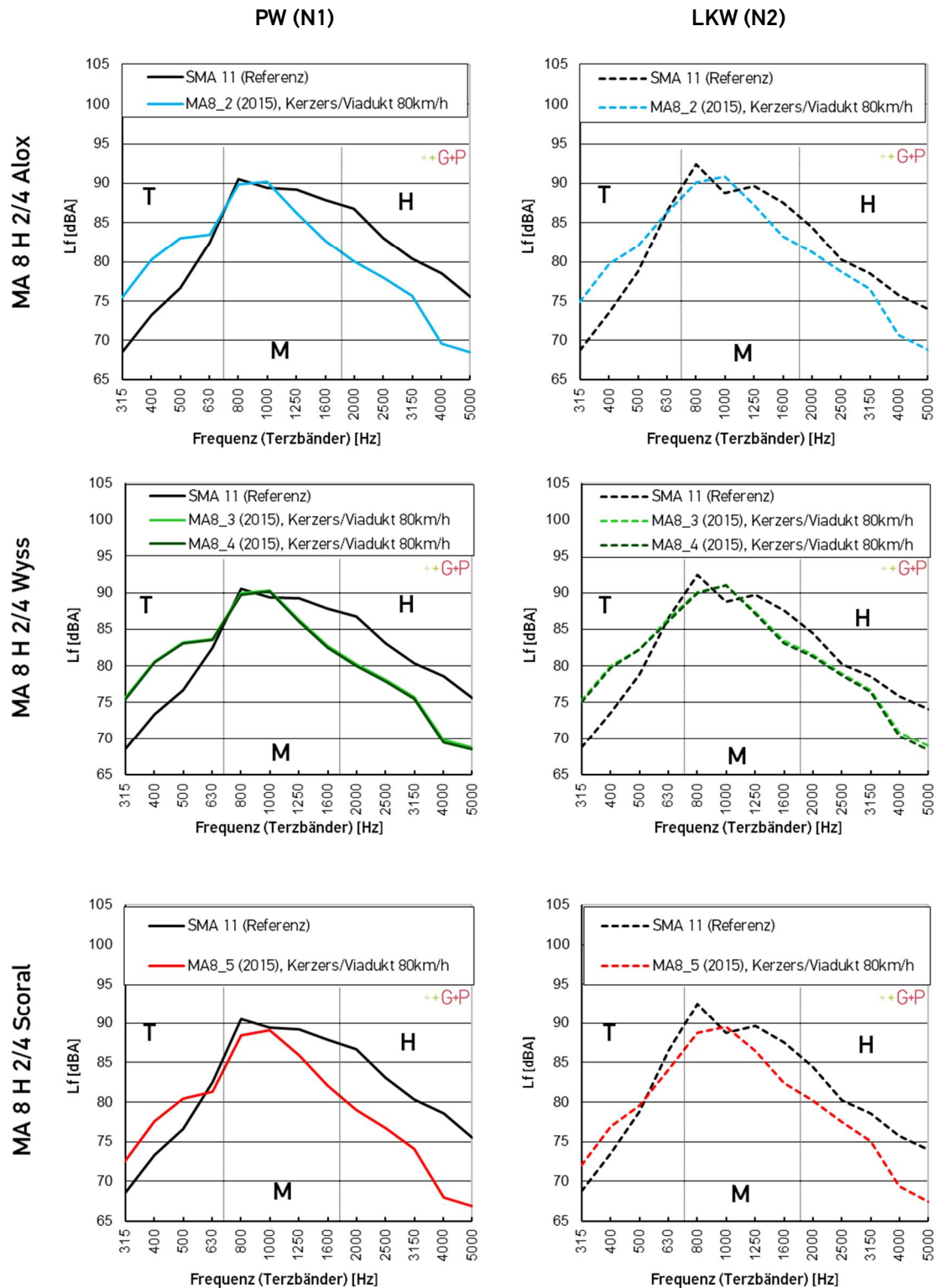


Abbildung 3ff.

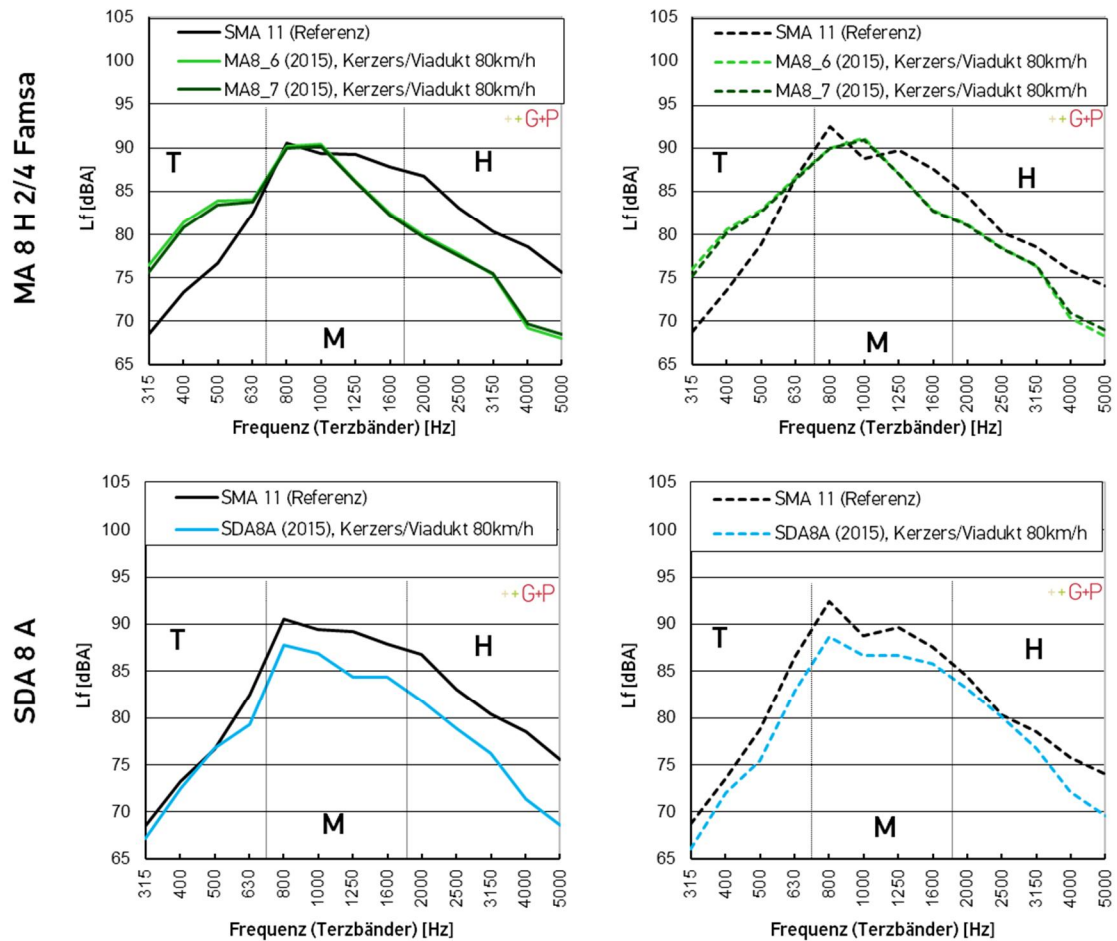


Abbildung 2: Frequenzanalyse der CPX-Messungen für PW-Reifen und LKW-Reifen in dB(A) (Mittelwert pro Belagstyp)

4.3 AKUSTISCHE HOMOGENITÄT

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung der CPX-Belagsgütwerte der beurteilten Strecken sind in Abbildung 3 mithilfe von Boxplots dargestellt (für Erläuterungen zur Darstellung siehe Anhang 2). Die Beurteilung bezieht sich auf die jeweiligen Belagsabschnitte ohne Störeinflüsse (Markierung, Schachtdeckel, etc.). In den Boxplots sind der Median, die 25%- und 75%-Quantile (Box) sowie das 5%-Quantil und das 95%-Quantil (Whiskers) für Personenwagen (PW, N1) und Lastwagen (LKW, N2) aufgezeigt. Zum Vergleich und zum Einordnen der gemessenen Belagsgütwerte einer Messstrecke wird ein Boxplot aller bisher durch G+P AG mittels CPX-Verfahren auf Nationalstrassen gemessenen Beläge herangezogen, der sich auf eine Gesamtstrecke von etwa 2'700 km bezieht.

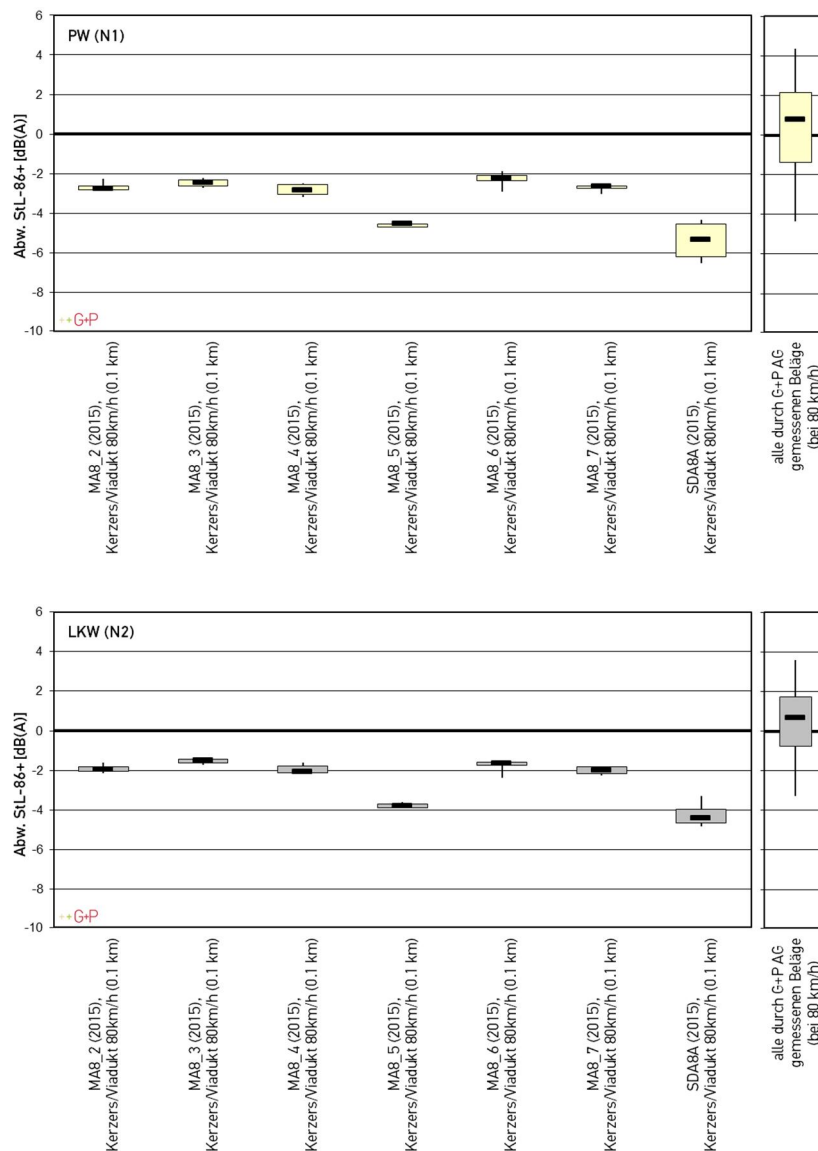


Abbildung 3: Statistische Verteilung (Boxplots) der akustischen Belagsgütwerte pro Fahrzeugkategorie in Abweichung zum Modell StL-86+. Zum Vergleich ist die Verteilung aller bisher durch G+P AG in der Schweiz auf Nationalstrassen gemessenen Beläge (ca. 2'700 km) dargestellt.

Bez.	Belag (Einbaujahr),	PW (N1)				LKW (N2)			
		Abw. StL-86+ [dB(A)]				Abw. StL-86+ [dB(A)]			
		Q05'	Q95''	Med'''	σ''''	Q05'	Q95''	Med'''	σ''''
M2	MA 8 H 2/4 Alox mit Walzen (2015)	-2.8	-2.3	-2.8	0.2	-2.1	-1.6	-2.0	0.1
M3	MA 8 H 2/4 Wyss mit Walzen (2015)	-2.7	-2.2	-2.5	0.1	-1.7	-1.4	-1.5	0.1
M4	MA 8 H 2/4 Wyss ohne Walzen (2015)	-4.7	-4.4	-4.6	0.1	-3.9	-3.6	-3.8	0.1
M5	MA 8 H 1.4/2.8 Scoral mit Walzen (2015)	-2.9	-1.9	-2.3	0.3	-2.4	-1.5	-1.7	0.3
M6	MA 8 H 2/4 Famsa mit Walzen (2015)	-3.2	-2.5	-2.9	0.2	-2.2	-1.6	-2.1	0.2
M7	MA 8 H 2/4 Famsa ohne Walzen (2015)	-3.0	-2.6	-2.7	0.1	-2.2	-1.8	-2.0	0.1
M1	SDA8A (2015)	-6.5	-4.3	-5.4	0.6	-4.8	-3.3	-4.4	0.5

' 5%-Quantil
 '' 95%-Quantil
 ''' Median
 '''' Standardabweichung

Tabelle 4: Referenzwerte zur statistischen Verteilung der akustischen Belagsgütwerte für PW und LKW in Abweichung zum Modell StL-86+

Kommentar:

- + Die geringste Streuung der akustischen Belagsgüte wird auf dem MA 8 H 1.4/2.8 Scoral mit Walzen festgestellt (Streuung = Q95 - Q05): 0.3 dB(A) für PW und 0.3 dB(A) für LKW.
- + Am grössten fällt die Streuung der akustischen Belagsgüte auf dem SDA8A Belag aus: 2.2 dB(A) für PW und 1.6 dB(A) für LKW.
- + Mit einer Standardabweichung der akustischen Belagsgüte der Gussasphalte für PW zwischen 0.1 und 0.3 dB(A) und einer maximalen Streuung von 1.0 dB(A), können die gemessenen Beläge als homogen bezeichnet werden.

4.4 AKUSTISCHER UNTERSCHIED VOR/NACH INVERKEHRSETZUNG

Die nachfolgende Tabelle enthält die mittels Regressionsmodell umgerechneten Belagsgütwerte in Abweichung zum Modell StL-86+. Es handelt sich hierbei um arithmetische Belagsgütemittelwerte, welche vor und nach Inverkehrsetzung separat ermittelt wurden.

			vor Inverkehrsetzung				nach Inverkehrsetzung	
Belag, Abstreuerung	Abschnitt	Einbaujahr	Belagsgütwerte Abw. StL-86+ [dB(A)]				Mischverkehr bei 8% Schwer- verkehrsanteil [dB(A)]	
			PW (N1)		LKW (N2)			
MA 8 H 2/4 Alox mit Walzen	MA8_2	2015	-1.1	-2.7	-1.1	-1.9	-1.1	-2.3
MA 8 H 2/4 Wyss mit Walzen	MA8_3	2015	-1.0	-2.5	-1.1	-1.5	-1.1	-2.0
MA 8 H 2/4 Wyss ohne Walzen	MA8_4	2015	-1.5	-2.8	-1.3	-2.0	-1.4	-2.4
MA 8 H 1.4/2.8 Scoral mit Walzen	MA8_5	2015	-3.9	-4.6	-3.1	-3.8	-3.3	-4.2
MA 8 H 2/4 Famsa mit Walzen	MA8_6	2015	-1.0	-2.3	-1.0	-1.8	-1.0	-2.1
MA 8 H 2/4 Famsa ohne Walzen	MA8_7	2015	-1.5	-2.7	-1.2	-2.0	-1.3	-2.4
SDA 8 A	MA8_1	2015	-5.0*	-5.4	-5.9*	-4.2	-5.6*	-4.8

* gemessen bei 50 km/h

Tabelle 5: CPX-Abschnittsmittelwerte pro Fahrzeugkategorie in Abweichung zum Modell StL-86+ vor Inverkehrsetzung (grün) und nach Inverkehrsetzung (braun).

Kommentar:

- + Es zeigt sich eine durchschnittliche akustische Verbesserung der Gussasphaltbeläge nach Inverkehrsetzung von -1.0 dB.
- + Die akustische Verbesserung kann durch das Abtragen von losem Korn nach Inverkehrsetzung erklärt werden. Diese Hypothese wird von der stärkeren akustischen Verbesserung beim PW-Reifen gegenüber dem LKW-Reifen gestützt, da der PW-Reifen stärker auf Texturunterschiede reagiert als der LKW-Reifen.

In Abbildung 4 sind die mittleren Rollgeräuskspektren der CPX-Messungen für PW-Reifen vor und nach Inverkehrsetzung dargestellt.

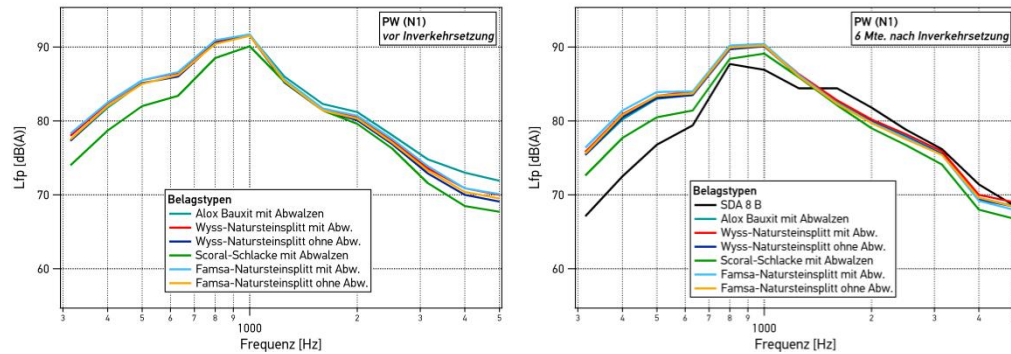


Abbildung 4: Frequenzanalyse der CPX-Messungen für PW-Reifen in dB(A) (Mittelwert pro Belagstyp) vor und nach Inverkehrsetzung.

Kommentar:

- + Es zeigt sich, dass die Rollgeräusche bei den mittleren bis tiefen Frequenzen (< 1'000 Hz) im Vergleich nach/vor Inverkehrsetzung leicht abgenommen haben. In diesem Frequenzbereich dominiert in der Regel die texturindizierte Schallentstehung.

4.5 WIRKUNGSANALYSEN UND INTERPRETATION

In diesem Abschnitt werden die akustischen Messungen mit belagstechnischen Messungen und den Modellierungen (Reifen-Fahrbahn-Interaktionsmodell; SPERoN) zusammengeführt und bezüglich der für Reifen-Fahrbahn-Geräusche dominierenden Lärmentstehungsmechanismen interpretiert.

4.5.1 OBERFLÄCHENTEXTUR

Im Gegensatz zu anderen lärmarmen Belägen zeichnen sich Gussasphalte durch positive Textur (konvex) aus. Dies wird mit den kleinen Gestaltfaktoren (siehe Anhang 8) gezeigt: bei ca. 45 % im Vergleich zu semi-porösen und semi-dichten Belägen, wo die Gestaltfaktoren um 85 % liegen und konkave Texturen dominieren. Der Einfluss der positiven Textur auf die Reifen-Fahrbahn-Geräusche äussert sich durch eine geringfügige Zunahme der Schallpegel im tiefen Frequenzbereich (<630 Hz). In Bezug auf die Lärmreduktion der Gussasphaltbeläge hat dies bloss geringfügige Auswirkungen, weil der entsprechende Frequenzbereich nur geringfügig zum Gesamtpegel beiträgt.

Zur Optimierung der lärmarmen Gussasphalte bezüglich Oberflächentextur wurden auf den Teilabschnitten die Abstreuung sowie die Einbautechnik variiert. Folgende Unterschiede konnten festgestellt werden:

- + Durch den Einbau mit Walzen wird die Oberflächentextur nur geringfügig verändert, was sich in einer geringfügigen Zunahme des Gestaltfaktors von ca. 2 % zeigt. Dies würde bedeuten, dass einige positive Texturen durch den Walzvorgang geglättet werden.

Tabelle 6 zeigt die Vibrationsgeräusche aus den Modellierungen mit SPERoN (Reifen-Fahrbahn-Interaktionsmodell) der verschiedenen untersuchten Abstreuungen mit deren akustischer Güte in Abweichung zu StL-86+.

Bez.	Abstreuung	Vibrationsgeräusche (texturinduziert) [dB(A)]	akustische Güte in Abw. StL-86+ [dB(A)]
MA8_5	Scoral mit Walzen	86.0	-4.6
MA8_2	Alox mit Walzen	89.4	-2.7
MA8_3	Wyss mit Walzen	89.5	-2.5
MA8_6	Famsa mit Walzen	89.9	-2.3

Tabelle 6: Vibrationsgeräusche (texturinduziert) aus den Modellierungen des Reifen-Fahrbahn-Interaktionsmodells SPERoN und akustische Güte in Abw. StL-86+ für PW (N1) in dB(A) für die Abstreuungen mit Abwalzung.

Kommentar:

- + Unterschied der Lärmreduktion für die Abstreuung Scoral im Vergleich zu den anderen Abstreuungen zeigt sich hauptsächlich durch die Textureinflüsse (siehe Vibrationsgeräusche aus Modellierung SPERoN in Tabelle 6)
- + Die Abstreuungen Alox, Wyss und Famsa weisen ähnliche Textureinflüsse auf, wobei die Abstreuung Famsa geringfügig lautere Vibrationsgeräusche aufweist.

Aufgrund der Verkehrsbeanspruchung wird erwartet, dass sich die Oberflächentextur aufgrund des Abtrages einzelner Körner verändern wird. Es ist denkbar, dass sich dieser Sachverhalt unterschiedlich auf den einzelnen Belagstypen auswirken wird, was Aufschluss über die Dauerhaftigkeit der lärmoptimierten Oberflächentextur geben wird.

4.5.2 LUFTSTRÖMUNGSGERÄUSCHE

Abbildung 5 zeigt die Resultate der Luftströmungswiderstandsmessungen in Abhängigkeit des Rollgeräuschpegels der Indikatorfrequenz für Luftströmungsgeräusche ($f=2'000$ Hz) bei den Messungen 6 Monate nach Inverkehrsetzung. Es ist zu erkennen, dass alle Beläge tiefe Luftströmungswiderstandswerte aufweisen. Bei den Gussasphaltbelägen werden die tiefen Luftströmungswiderstandswerte sehr wahrscheinlich durch die konvexe Textur erreicht. Die Räume zwischen den Texturspitzen scheinen das Entweichen der Luft in der Kontaktzone Reifen-Fahrbahn zu erleichtern, was zu einer Verringerung der Luftströmungsgeräusche führt. Obwohl im Gussasphalt keine Hohlräume vorhanden sind, befinden sich die Luftströmungswiderstandswerte im Bereich, welche üblicherweise auf porösen Asphaltbelägen gemessen werden.

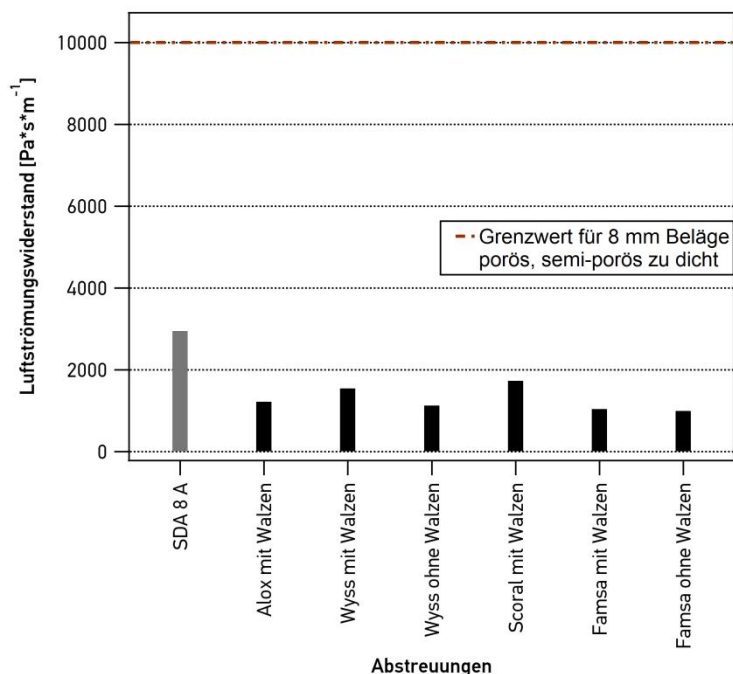


Abbildung 5: Luftströmungswiderstand 6 Monate nach Inverkehrsetzung für alle gemessenen Belagstypen.

Aufgrund der logarithmischen Betrachtungsweise von Luftströmungswiderstandswerten ist der Unterschied zwischen den gemessenen lärmarmen Gussasphalten marginal. Die Differenzen der akustischen Wirkung sind somit eher texturinduziert als durch Luftströmungsgeräusche charakterisiert.

Zum SDA 8 A Belag gibt es anzumerken, dass trotz des angestrebten tiefen Hohlraumgehaltes mit knapp $3'000 \text{ Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1}$ als porös eingestuft wird. Die Hohlraumbestimmung am Bohrkern kann diesbezüglich zusätzliche Erkenntnisse liefern.

5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Akustische Wirkung

- + Die im vorliegenden Auftrag gemessenen Gussasphaltbeläge fallen im Vergleich zu den bisher von G+P AG mit der CPX-Methode auf Nationalstrassen erfassten Strecken (ca. 2'700 km) für PW um -5.4 bis -3.1 dB(A) leiser aus. Für LKW fallen die Beläge um -4.5 bis -2.2 dB(A) leiser aus.
- + Die Wirkung für den MA 8 H 1.4/2.8 mit Abstreuerung Scoral im Vergleich zum Modell StL86+ liegt nach 6 Monaten Inverkehrsetzung bei -4.6 dB(A).

Homogenität

- + Mit einer Standardabweichung der akustischen Belagsgüte für PW zwischen 0.1 und 0.3 dB(A) und einer maximalen Streuung von 1.0 dB(A), können die gemessenen Gussasphaltbeläge als homogen bezeichnet werden.

Einfluss Abstreuerungen

- + Im Gegensatz zu anderen lärmarmen Belägen zeichnen sich alle untersuchten Abstreuerungen durch positive Textur (konvex) aus. Obwohl in der Regel konkave Texturen als lärmindernd eingestuft werden, werden mit allen eingesetzten Abstreuerungen Eigenschaften für lärmarme Beläge erreicht.
- + Alle Abstreuerungen weisen tiefe Luftströmungswiderstandswerte auf, welche üblicherweise bei porösen Asphaltbelägen gemessen werden. Bei den untersuchten Abstreuerungen werden die tiefen Luftströmungswiderstandswerte sehr wahrscheinlich durch die konvexe Textur und damit verbundenen Zwischenräume erreicht.
- + Die Unterschiede in den verschiedenen Abstreuerungen bezüglich der lärmreduzierenden Wirkung sind auf Textureigenschaften und nur marginal auf Luftströmungseigenschaften zurückzuführen.
- + Der MA 8 H 1.4/2.8 Scoral ist im Vergleich zu den anderen Gussasphaltbelägen vor allem in den Frequenzen < 630 Hz sehr leise (zwischen 2 bis 4 dB). Dies liegt sehr wahrscheinlich an der feineren Oberflächentextur sowie an der günstigeren Kornform/-struktur.

Einfluss Walzen

- + Dieselbe Abstreuerung ohne Walzen ist im Mittel um -0.4 dB leiser.
- + Momentan ist keine Aussage über den Effekt des Einbaus mit/ohne Abwalzung möglich. Es ist weiter zu verfolgen ob sich in Zukunft durch die Verkehrsbeanspruchung stärkere Unterschiede ergeben werden.

Ausblick

- + Die ersten Ergebnisse des Forschungsprojekts Gussasphalt sind vielversprechend. Allerdings müssen zukünftige Messungen zeigen ob sich die Tendenzen zu den verschiedenen Abstreuerungen und Einbaumethoden bestätigen.

6. KOMMENTARE ZU DEN MESSERGEBNISSEN

Alle in diesem Projekt gemessenen Gussasphaltbeläge (MA 8 H) auf dem Autobahnviadukt in Kerzers zeichnen sich durch gute lärmarme Eigenschaften aus. Im Vergleich zum mittleren, auf Nationalstrassen von G+P AG erfassten Belag (ca. 2'700 km) schneiden die Beläge um -5.4 und -3.1 dB für PW (N1) besser ab.

Es gilt weiterhin zu beachten, dass es sich bei dieser Studie um die akustische Beurteilung von Belägen in neuem Zustand handelt. Es ist zu erwarten, dass sich die akustische Belagsgüte neu eingebauter Beläge mit zunehmendem Alter verändert. Wie stark diese akustische Belagsalterung ausfällt, müssen zukünftige Messungen zeigen.

Das CPX-Verfahren eignet sich zur Beantwortung von akustischen Monitoring-Fragestellungen. Um bei der Bestimmung der akustischen Alterung die bestmögliche Vergleichbarkeit der Messresultate zu gewährleisten, sollten zukünftige Messungen auf den untersuchten Belagsabschnitten ebenfalls mit dem CPX-Verfahren erfolgen.

Grolimund + Partner AG



Erik Bühlmann



Emanuel Hammer

ANHANG

1 METHODEN

CPX-Messverfahren

Die von G+P AG eingesetzte CPX-Methode richtet sich nach ISO/DIS 11819-2:2012. Bei dieser Methode werden die akustischen Eigenschaften von Strassenbelägen durch eine kontinuierliche und direkte Messung der Reifen-Fahrbahngeräusche mit einem Messanhänger ermittelt.

Messsystem

Beim CPX-Messsystem wird der Schallpegel in zwei separaten schallgedämmten Kammern innerhalb des Messanhängers in unmittelbarer Reifennähe mit je zwei Mikrofonen gemessen. Der eingesetzte G+P Anhänger erfüllt die in der ISO/DIS 11819-2:2012 festgelegten Kriterien betreffend Beeinflussung der Messergebnisse durch geräteeigene Schallreflexionen sowie durch interne und externe Schallgeräusche (siehe Testergebnisse in Anhang 3).



Abbildung 6: G+P Messanhänger

Die verwendeten Testreifensätze sind in Abbildung 7 dargestellt: Uniroyal Tigerpaw (SRTT) 225/60-R16 (Testreifen A1 für Personenwagen/Cars) und Avon AV4 195-R14C (Testreifen D1 für Lastwagen/Trucks).



Abbildung 7: CPX-Testreifen A1 und D1

Eine schematische Übersicht über das G+P Messsystem ist in Abbildung 8 dargestellt.

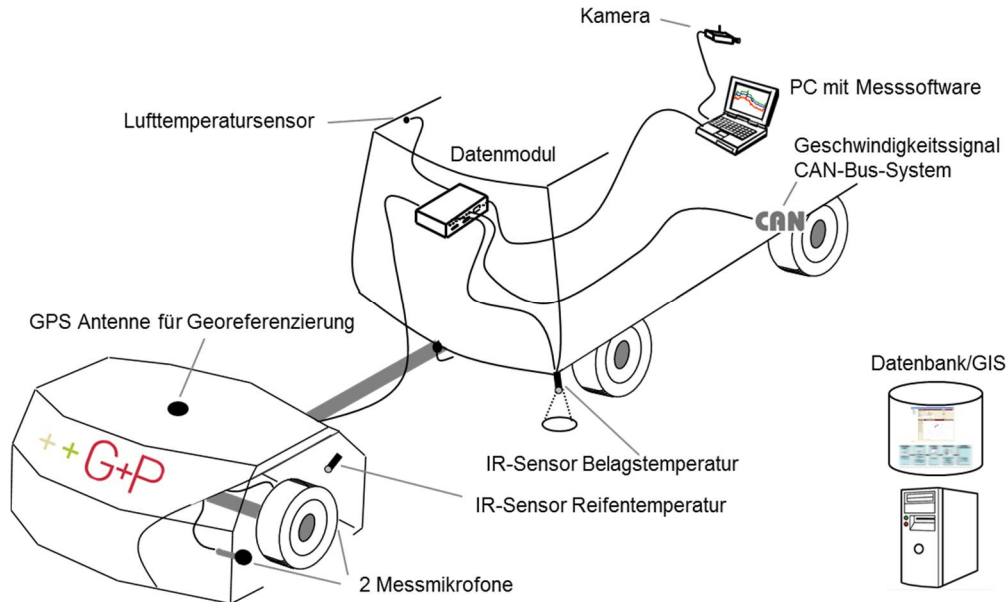


Abbildung 8: Schematische Übersicht des G+P Messsystems

Die Signale der 4 Messmikrofone (2 Messmikrofone je Seite), das Geschwindigkeitssignal aus dem CAN-Bus-System des Zugfahrzeuges, das GPS-Signal für die Georeferenzierung der Messdaten, sowie die Signale der Temperatursensoren werden im zentralen Datenmodul verarbeitet und von der Messsoftware aufgezeichnet. Die unmittelbare grafische Anzeige der Messsignale ermöglicht die ständige Überwachung des gesamten Messvorgangs während der Fahrt. Eine Kamera auf der Vorderseite des Fahrzeugs fotografiert zu Interpretations- und Kontrollzwecken fortlaufend die Strassenoberfläche. Alle Messdaten werden vom Datenmodul mit Ort/Zeit-Angaben versehen und zur Auswertung in einer eigens entwickelten Datenbankapplikation abgelegt.

Messmethode und Messgrößen

Pro Reifen werden die A-bewerteten Schallpegel kontinuierlich auf der gesamten Messstrecke erfasst. Dabei werden die Mikrofonssignale mit einer Frequenz von 8 Hz aufgezeichnet und pro Messsegment (Länge 20 m) energetisch gemittelt. Die Messfahrt erfolgt bei möglichst konstanter Geschwindigkeit (Referenzgeschwindigkeit von 50 km/h oder 80 km/h). Die Messresultate werden entsprechend der tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeit sowie bezüglich geräteeigener Schallreflexionen korrigiert, siehe Formel (1).

$$\begin{aligned} CPX_{cars} &= Lp_{Reifen A1} + K_V + K_{Anhänger} \\ CPX_{trucks} &= Lp_{Reifen D1} + K_V + K_{Anhänger} \end{aligned} \quad (1)$$

CPX_{cars} , CPX_{trucks} : CPX-Indexwerte pro Fahrzeugkategorie

$Lp_{Reifen A1}$: A-bewerteter Schallpegel für Testreifen A1

$Lp_{Reifen D1}$: A-bewerteter Schallpegel für Testreifen D1

K_V : Geschwindigkeitskorrektur [dBA], siehe Formel (2)

$K_{Anhänger}$: Terzbandbasierte Anhängerkorrektur für schallkammer-spezifische Schallreflexionen (siehe Anhang 3)

Die Geschwindigkeitskorrektur berechnet sich wie folgt:

$$K_v = -b \cdot \log(v / v_{ref}) \quad (2)$$

- K_v : Geschwindigkeitskorrektur [dB(A)]
- b : Geschwindigkeitskonstante [dB(A)]
- v : tatsächlich gefahrene Geschwindigkeit [km/h]
- v_{ref} : Referenzgeschwindigkeit [km/h]

CPX_{cars} repräsentiert das Rollgeräusch von Personenwagen und leichten Fahrzeugen, während CPX_{trucks} dem Rollgeräusch des Schwerverkehrs entspricht. Die CPX-Indexwerte werden jeweils mit und ohne Temperaturkorrektur ausgewiesen.

Temperaturkorrektur

Die CPX-Indexwerte wurden auf folgende Weise temperaturbereinigt (Details in: *Bühlmann und Ziegler (2011), "Temperature effects on tyre/road noise measurements", Proc. of InterNoise, Osaka.*):

$$K_{temp} = 9 \cdot (T_{Luft150} - 20) \quad (3)$$

- K_{temp} : Temperaturkorrektur [dB(A)]
- ϑ : belags-, geschwindigkeits- und reifenabhängiger Korrekturfaktor [dB(A) / °C]
- $T_{Luft150}$: fortlaufend aufgezeichnete Lufttemperatur auf 1.5m Höhe [°C]

Shorehärtekorrektur

Shorehärtekorrekturen werden in Abhängigkeit des Reifentyps wie folgt berechnet (Details in: *Bühlmann et al. (2013), "Ageing of the new CPX reference tyres during a measurement season", Proc. of InterNoise, Innsbruck.*)

$$K_{shoreA} = \gamma \cdot (Sh_{gem} - C) \quad (4)$$

- K_{shoreA} : Shorehärtekorrektur [dB(A)]
- γ : reifenabhängiger Korrekturfaktor [dB(A) / Einheit Shore A]
- Sh_{gem} : monatliche Shorehärtemessung bei 20 °C, zeitlich interpoliert [Shore A]
- C : reifenabhängiger Referenzwert

Umrechnung auf StL-86+ bei 80 km/h

CPX-Indexwerte repräsentieren die absoluten Schallpegel in 20 cm Distanz zum Reifen. Für die Interpretation der Resultate interessiert aber die Abweichung vom in der Schweiz gültigen Emissions-Modell StL-86+. Dazu wurden die CPX-Indexwerte an 37 Standorten mit SPB Messungen (Statistical Pass-By - Vorbeifahrtmessungen) korreliert. Die zur Korrelation verwendeten SPB-Messungen wurden gemäss dem *Technischen Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Strassen* (ASTRA/BAFU, 2006, Dokument UV-0637, Anhang 1c) bei mittleren Geschwindigkeiten von 118 km/h (PW) und 87 km/h (LKW) durchgeführt.

Die Genauigkeit dieser Umrechnungsmodelle wurde anhand von Korrelations- und Regressionsanalysen überprüft. Die Bestimmtheitsmasse (R^2) für die verwendeten Umrechnungsmodelle betragen 87% für CPXcars und SPB N1 (Vorbeifahrtmessungen von Personenwagen und leichten Fahrzeugen) und 89% für CPXtrucks und SPB N2 (Vorbeifahrtmessungen von Lastwagen und schweren Fahrzeugen).

Für das Umrechnungsmodell CPXcars - SPB N1 liegt das 95% Vertrauensintervall zwischen ± 0.5 bis ± 1.2 dB(A). Für das Umrechnungsmodell CPXtrucks - SPB N2 bewegt sich das 95% Vertrauensintervall zwischen ± 0.3 bis ± 0.9 dB(A).

Schallabsorptionsmessungen

Die Schallabsorptionseigenschaften eines Strassenbelages sind stark frequenzspezifisch und abhängig von dessen Schichtdicke, der Porosität, der Porenform, deren Verbindungsgrad untereinander und dem spezifischen Strömungswiderstand. Die Schallabsorptionseigenschaften eines Strassenbelages können einen grossen Einfluss auf das Ausmass des Horneffekts und auf die Schallausbreitung haben. Deren messtechnische Bestimmung ist bei der näheren Analyse der akustischen Wirksamkeit von semidichten und porösen Belägen von grosser Wichtigkeit.



Die Messung der Schallabsorptionseigenschaften erfolgt mit dem PU-Verfahren in-situ. Bei diesem Messverfahren wird ein Schallsignal auf die Testfläche ausgesendet. Neben dem Schalldruck wird zusätzlich die Schallschnelle aufgezeichnet. Daraus wird die Impulsantwort des abgestrahlten Signals und dessen Reflexion berechnet und daraus der Schallabsorptionsgrad der Testfläche bestimmt. Im Vergleich zur Bestimmung des Absorptionsgrades mit der Impedanzrohrmethode kann mit dem PU-Verfahren der Schallabsorptionsgrad für einen breiteren Bereich des Lärmspektrums bestimmt werden. Ausserdem ist es möglich, verhältnismässig geringe Schallabsorptionseigenschaften in-situ mit hoher Genauigkeit zu bestimmen.

Die schallabsorbierenden Eigenschaften eines Strassenbelages sind dann am besten, wenn ein möglichst hoher Schallabsorptionsgrad in demjenigen Frequenzbereich realisiert wird, in welchem beim Überrollen des Strassenbelages mit Fahrzeugreifen auch am meisten Schallenergie entsteht. Dies ist typischerweise im mittleren Frequenzbereich zwischen 800 Hz und 1250 Hz der Fall.

2 MESSVERFAHREN OBERFLÄCHENEIGENSCHAFTEN

Oberflächentexturmessungen mit Laserprofilometer

Für die Schallentstehung hat die Oberflächentextur eines Belages einen entscheidenden Einfluss. Mit einem Laser wird die Oberfläche des Strassenbelags abgetastet und ein 2D Profil erstellt. Das Oberflächenprofil wird nach EN ISO 13473-1 aufgezeichnet. Es werden mindestens 20 Profilquerschnitte von mindestens 2 m Länge (Abstand 1 cm) aufgezeichnet, das daraus resultierende Pseudo 3D Profil wird dann als wichtige Einfuhrgrösse in SPERoN verwendet.



Es wurden folgende Kennwerte abgeleitet:

Kennwert	Beschreibung	Richtwert
MPD (Mean Profile Depth)	Der MPD ist der Abstand zwischen der höchsten Profilspitze und dem Mittelwert der Profil-Kurve innerhalb einer Messlänge von 100 mm (gemäss ISO 13473-1).	keine
Spektralanalyse	Gemäss EN ISO 13473-4 wird das Oberflächenprofil mathematisch mittels einer Fourier-Transformation in Sinusschwingungen mit unterschiedlichen Wellenlängen und Amplituden zerlegt. In einem Histogramm wird die Rautiefe in Abhängigkeit der Wellenlänge dargestellt.	keine
max. Rautiefe $A_{\max}$	Maximale Rautiefe [μm] im Wellenlängenbereich von 2,5 bis 200 mm.	$60 \mu\text{m} \leq A_{\max} \leq 250 \mu\text{m}$
Wellenlänge λ bei $A_{\max}$	Texturwellenlänge λ [mm] die der maximalen Rautiefe entspricht.	$12,5 \geq \lambda (A_{\max}) \geq 4,0$

$A_{\max}$, λ ($A_{\max}$) und der Gestaltfaktor g basieren auf umfangreichen Untersuchungen des Zusammenhangs zwischen der Fahrbahnoberflächentextur und dem Reifen-Fahrbahn-Geräusch und stellen drei statistisch voneinander unabhängige beschreibende Kenngrössen der Textur dar (Beckenbauer 2001, Sandberg und Ejsmont 2002). Bei den angegebenen Werten handelt es sich um Richtwerte für lärmarme Beläge mit homogener Textur, sie stellen aber kein allgemeingültiges Bewertungskriterium für diese Beläge dar.

Luftströmungswiderstandsmessungen mit Lufttopf

Durch eine Luftströmungswiderstandsmessung auf der Belagsoberfläche kann erfasst werden, wie „einfach“ die Luft beim Kontakt Reifen-Fahrbahn aus der Kontaktzone entweichen kann, was wiederum Aufschluss über die Schallentstehung in der Kontaktzone Reifen-Fahrbahn gibt. Dazu wird mit einem Kompressor über einen Luftkanal im „Lufttopf“ ein gleichmässiger Luftstrom erzeugt, der in einem zweiten Luftkanal wieder gemessen wird. Gemessen wird der Überdruck in der Kammer in Abhängigkeit des geregelten Durchflusses der eintretenden Luft. Beide Messgrössen stehen theoretisch in einer linearen Abhängigkeit, wobei die Steigung von der Geschwindigkeit, bei der die Luft durch den Belag entweichen kann, abhängt. Dies ergibt das Mass für die Luft, die in der Kontaktzone Gummi-Strassenbelag entweicht.



Der Luftströmungswiderstand einer Deckschicht wird definiert als Quotient des Überdruckes in der Kammer Δp zum Durchfluss q . Der spezifische Strömungswiderstand R_s wird definiert als Quotient des Überdruckes zur Strömungsgeschwindigkeit q/A (A bezeichnet die Prüffläche). Diese Definition wird in der folgenden Gleichung erläutert.

$$R_s = A \frac{\Delta p}{q}$$

Der spezifische Luftströmungswiderstand eines Strassenbelages wird empirisch bei einer Luftströmungsgeschwindigkeit von genau 0.0125 m/s bestimmt.

3 ANALYSEN BELAGSAKUSTIK

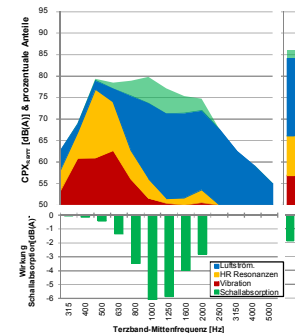
Reifen-Fahrbahn-Interaktionsmodell SPERoN

Das Reifen-Fahrbahn-Interaktionsmodell SPERoN (Statistical and Physical Explanation of Rolling Noise) eingebaut im Software-Tool AOT (Acoustic Optimization Tool) (Kuijpers et Al. 2007), wurde verwendet, um die gemessene lärmreduzierende Wirkung von Belägen bezüglich der Lärmentstehungsmechanismen sowie Schallabsorption zu interpretieren. SPERoN modelliert aufgrund von Oberflächentextur-, Luftströmungswiderstands- und Schallabsorptionsmessungen die Lärmpegel für die einzelnen Lärmentstehungsmechanismen für PW und LKW Reifen bei verschiedenen Geschwindigkeiten. Der physikalische Teil des Modells berechnet die Kontaktkräfte zwischen Belagsoberfläche und Reifen. Die Belagsoberfläche wird durch ein quasi 3D-Profil simuliert. Für den Reifen wird ein Standardmodell gewählt. Der statistische Modellteil bildet ein virtuelles Lärmspektrum an Hand von geschätzten Reifenvibrationen, Luftströmungsmechanismen, Reibungen, Reifenprofilen und dem aerodynamisch erzeugten Schall. SPERoN beinhaltet ebenfalls ein Modul für die Schallausbreitung unter Berücksichtigung des Horneffektes, welches eine Abschätzung der lärmreduzierenden Wirkung durch Schallabsorption erlaubt (Peeters et Al. 2010). Als Simulationsergebnis liefert das Modell ein Lärmspektrum (Lmax) der Rollgeräusche für die Mikrofonpositionen der CPX (close-proximity) Messung.

Die Berechnungen wurden für einen Reifen Michelin Energy 195/65 R15 (ein Reifen mit minimiertem Rollwiderstand) und für eine Geschwindigkeit von 50 km/h sowie für eine Last pro Reifen von 425 kg durchgeführt.

Akustische Wirkungsanalysen

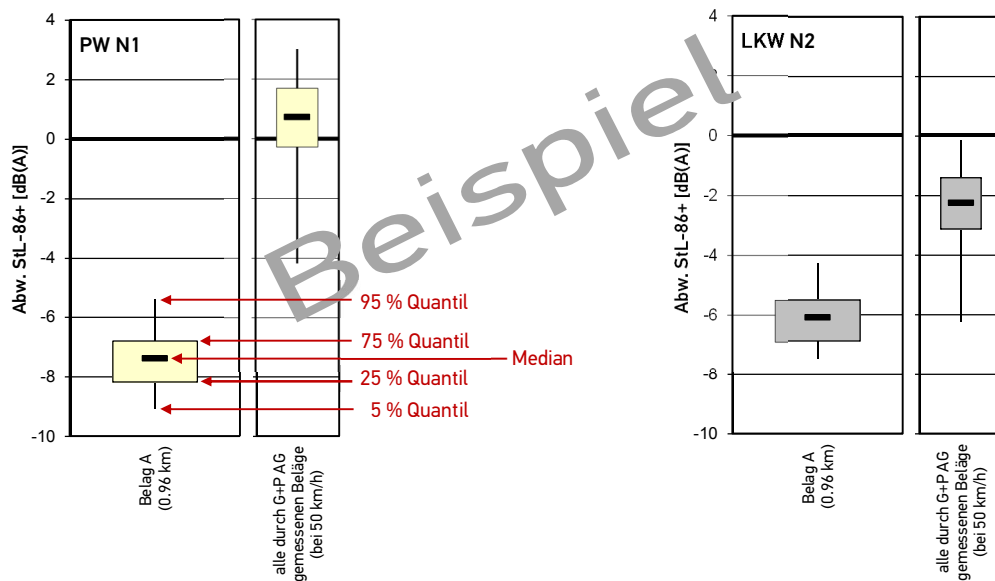
Für die Interpretation der gemessenen Rollgeräuschkpektren CPX bezüglich Lärmentstehung und Wirkung Schallabsorption, wurden diese mit den durch SPERoN modellierten lärmentstehungsmechanismus-spezifischen Geräuschan-teilen gewichtet (nach Bühlmann und Ziegler 2012). Auf diese Weise können Aussagen über die Wirksamkeit der Beläge bezüglich der Reduktion von Vibrations- und Luftströmungsgeräuschen, der Eindämmung von Hohlraumresonanzen, sowie der schallabsorbierenden Wirkung eines Belages gemacht werden. Solche akustische Wirkungsanalysen werden beigezogen, um Unterschiede der akustischen Wirkung zwischen einzelnen Belägen zu erklären. Ebenfalls ermöglichen diese, Ursachen für die akustische Veränderung der Beläge über Zeit zu finden.



4 ERLÄUTERUNGEN ZU DEN DARSTELLUNGEN UND TABELLEN

Boxplots (Statistische Auswertung der Belagsgütwerte)

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung der CPX-Belagsgütwerte sind jeweils in Boxplots dargestellt. In den Boxplots sind der Median und die 25%- und 75%-Quantile (Box) sowie das 5%-Quantil und das 95%-Quantil (Whiskers) pro Fahrzeugkategorie. Als Vergleich dient die Verteilung aller bisher durch G+P auf Nationalstrassen gemessenen Beläge, welche auf einer Gesamtmessstrecke von ca. 2700 km beruht (jeweils auf der rechten Seite dargestellt).

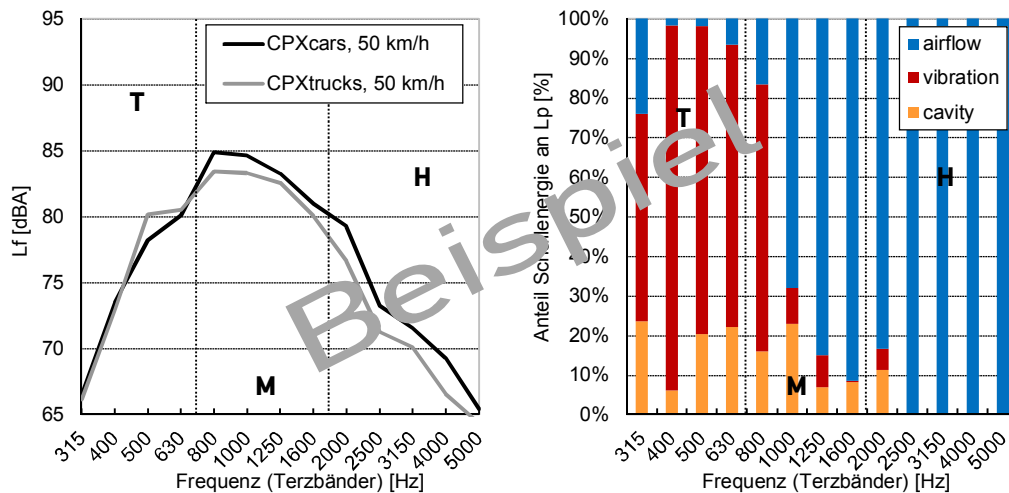


Lesebeispiel:

- + Beim Belag A sind für die Fahrzeugkategorie PW 95% aller Messsegmente leiser als -5.5 dB(A) in Abweichung zum Referenzmodell StL-86+.
- + Für PW sind 75% aller Messsegmente leiser als -6.6 dB(A) in Abweichung zum Referenzmodell StL-86+.
- + Der Median der Messsegmente liegt für die Fahrzeugkategorie PW bei -7.3 dB(A) in Abweichung zum Referenzmodell StL-86+.

Frequenzanalyse

Die Interpretation der Spektralanalyse ist am Beispiel eines SMA 11 Belages erläutert.



Das Spektrum der Reifen-Fahrbahngeräusche lässt sich in drei Hauptfrequenzbereiche einteilen:

- + **Tief (T):** Im tieffrequenten Bereich sind bei der Schallentstehung vor allem vibrationsbezogene Entstehungsmechanismen dominant. Die Beiträge von Hohlraumresonanzen (cavity) und Luftströmungsgeräuschen spielen eher eine untergeordnete Rolle.
- + **Mittel (M):** Im mittleren Frequenzbereich findet der Übergang von Vibrationsschall zu Luftströmungsschall statt. Gleichzeitig ist ein signifikanter Beitrag durch Hohlraumresonanzen zu verzeichnen.
- + **Hoch (H):** Der hochfrequente Bereich wird vor allem durch Luftströmungsgeräusche geprägt. In der neuesten Forschung geht man jedoch davon aus, dass vibrationsbezogene Schallentstehung in diesem Frequenzbereich zwar wesentlich geringer, jedoch nicht ganz vernachlässigbar ist.

5 ANGABEN ZU DEN MESSUNGEN UND MESSGERÄTEN

ISO/DIS 11819-2: 2012

(Close Proximity - Messung)

19.04.2016

ALLGEMEINE ANGABEN

Messequipe	eh, dfl
Auswertungen durch	Grolimund + Partner AG Thunstrasse 101A 3006 Bern Tel +41 31 356 20 00 Fax +41 31 356 20 01
Auswerttool	CPX DB, G+P AG
Belag/Beläge	SDA8A, MA8 2/4, MA8
Einbaujahr/e	2015

MESSGERÄTE / MESSSYSTEM

Anhängertyp	M+P Anhänger XL9CPX750, zweirädrig		
Insertion loss	Bericht M+P.GUNDP.08.01.1, 24. Juni 2008		
Kalibrierung Anhänger	G+P, 15.03.2015		
PAK Mobil	PAK Mobil Mk. II	Reservemikrofone	MTG MK250B Nr. 7846
Mikrofone	MTG MK250B Nr. 7843 MTG MK250B Nr. 7844 MTG MK250B Nr. 7845 MTG MK250B Nr. 7847		MTG MK250B Nr. 9878
Vorverstärker	MTG MV210 Nr. 1384 MTG MV210 Nr. 1385 MTG MV210 Nr. 1386 MTG MV210 Nr. 1389	Reifen	A1: Uniroyal Tigerpaw SRTT D1: Avon AV4
		IR-Sensoren	Raytek MID10LT Raytek MID10LTCB3
		Temperaturlogger	EasyLog 40KH Nr. 00201184 EasyLog 40KH Nr. 00205934
Kalibrator	B&K 4231 Nr. 2637555	Kamera	Logitech QuickCam Pro 9000

KALIBRIERUNGSBERICHT ANHÄNGER

- Zusammenfassung**
- Der Test für den Einfluss geräteeigener Schallreflexionen gegenüber der Messung im freien Feld erfolgte mittels der Enclosure Fitting Methode. Der Test wurde am 15. März 2015 durchgeführt.

SRTT

Frequenz [Hz]	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
Einfluss Linke Kammer	-0.3	-0.8	-2.6	0.7	0.5	-0.1	-0.8	-0.2	0.1	-0.2	-0.2	0.5
Einfluss Rechte Kammer	-0.1	-0.8	-2.4	1.1	0.3	-0.4	-0.3	0.1	0.5	-0.5	-0.1	0.8

Avon AV4

Frequenz [Hz]	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
Einfluss Linke Kammer	0.9	-1.5	-2.6	-0.1	0.4	0.6	-0.5	0.2	-0.4	0.8	-0.4	-0.2
Einfluss Rechte Kammer	0.9	-1.9	-1.8	-0.1	0.0	0.8	-1.4	-1.0	-1.0	0.3	-0.7	0.1

Die ISO/DIS 11819-2: 2012 schreibt lediglich Korrekturen bei Abweichungen von grösser als 1 dBA vor. Zur Erhöhung der Messgenauigkeit werden jedoch sämtliche der oben angegebenen Korrekturen auf zukünftigen Messungen angewendet.

- Die Tests für den Einfluss messsystemeigener Störgeräusche sowie für die Empfindlichkeit gegenüber Störgeräuschen des übrigen Strassenverkehrs ergaben, dass der G+P CPX-Anhänger bei Messgeschwindigkeiten von 50, 80 und 110 km/h in dichtem Verkehr verwendet werden kann. Bei Messungen bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h können die Messresultate jedoch durch laute Vorbeifahrten von LKW's mit Tempo 80 km/h beeinflusst werden. Die gemessenen Pegel sind entsprechend zu überprüfen.

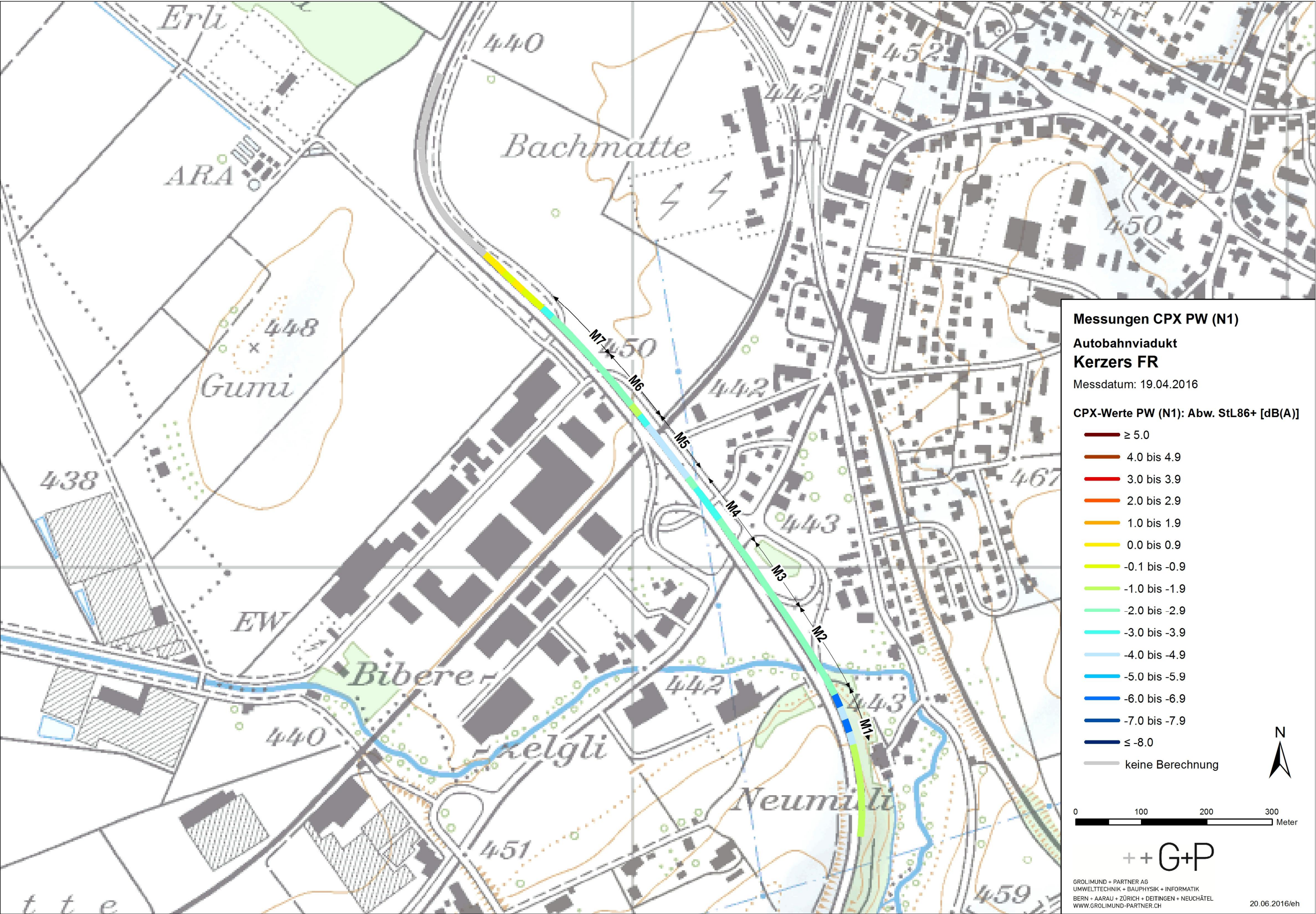
Die detaillierten Ergebnisse des Insertion Loss Tests sind im Bericht M+P.GUNDP.08.01.1 vom 24. Juni 2008 beschrieben.

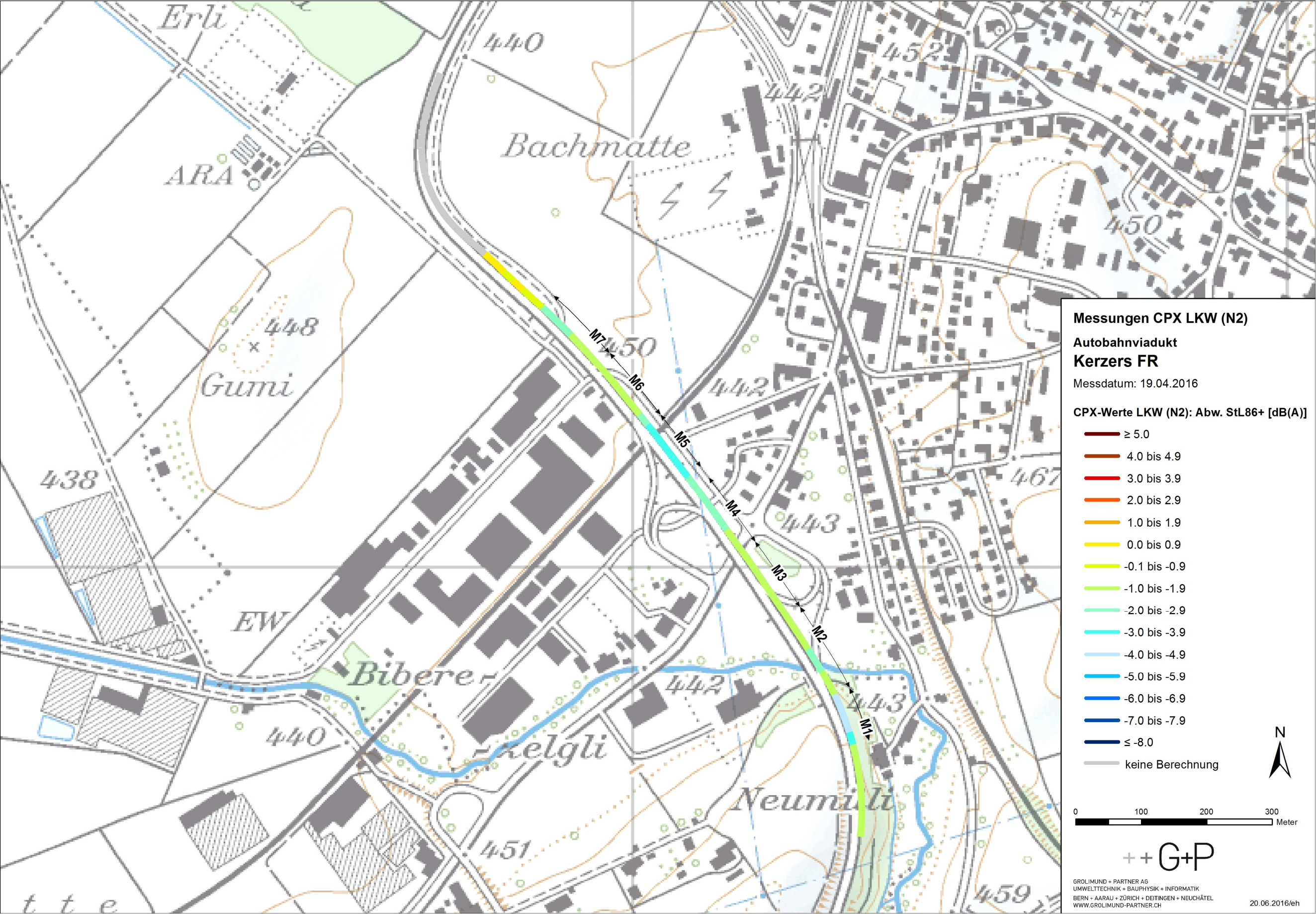
Grolimund & Partner AG


Toni Ziegler


Erik Bühlmann

6 ÜBERSICHTSKARTEN MESSUNGEN CPX





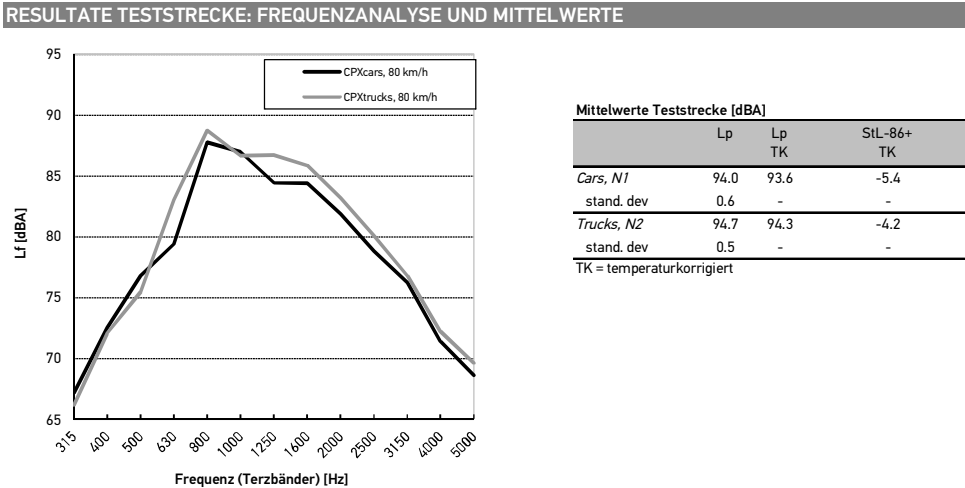
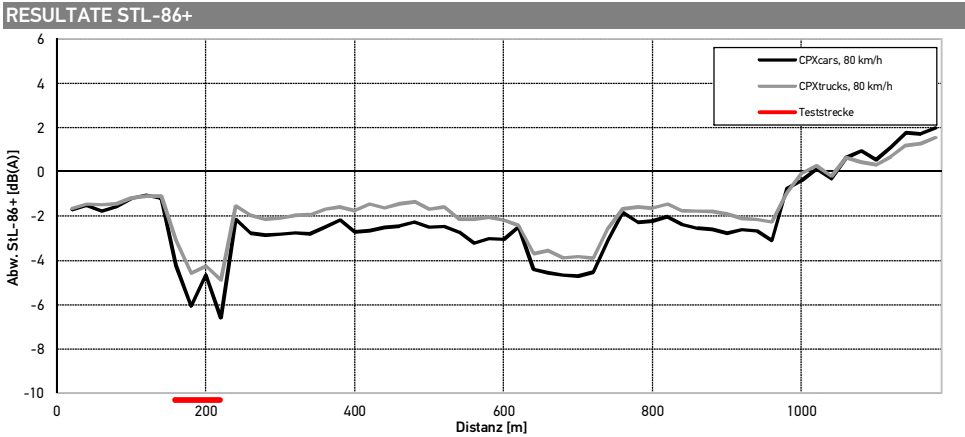
7 MESSPROTOKOLLE

BELAGMESSPROTOKOLL CPX (Close Proximity - Messung) 19.04.2016
GANZE FAHRSPUR

IDENTIFIKATION					
Ort	Ort	Kerzers/Viadukt 80km/h	Projekt	Auftraggeber	ASTRA
Strasse	Strassenbez.	Einspurig		Ing. Bür	G+P, BE
	Richtung	Nord		Projekt-Nr.	A4054
	Streckenlänge	1080 [m]		Messequipe	eh, dfl
	Teststrecke	80 [m]		Verantwortlich	E. Bühlmann
	Messart	CPX			

MESSUNGEN					
Messzeit	Datum	19.04.2016	Belag	Typ	SDA8A
	Messzeit	16:37 - 17:19		Einbaujahr	2015
Temperatur	Luft 1.5m	16.1 [°C]		Details	
	Belag	28.5 [°C]	Referenzgeschwindigkeit		80 [km/h]
	Reifen	28.8 [°C]	Messfahrten	Reif. A1	Reif. D1
Reifen	Reifen A1:	Uniroyal Tigerpaw SRTT	Anzahl	2	2
	Reifen D1:	Avon AV4	Messgeschw.	80.4	80.1 [km/h]
Bemerkung			Standartabw. V	0.9	1.1 [km/h]

AUSWERTUNG			
Geschwindigkeitskonstante b	30 (dicht), 35 (Beton), 25 (porös)	Temperaturkorrektur	-0.104 [dB(A)/°C]
Indexwerte	CPXcars = Lp (Reifen A1) CPXtrucks = Lp (Reifen D1)	Umrechnungsmodell CPX zu StL-86+:	
		basiert auf 67 CPX-SPB-Wertepaaren	
		Erstelldatum:	9.2011



BELAGSMESSPROTOKOLL CPX GANZE FAHRSPUR

(Close Proximity - Messung)

19.04.2016

IDENTIFIKATION

Ort	Ort	Kerzers/Viadukt 80km/h	Projekt	Auftraggeber	ASTRA
Strasse	Strassenbez.	Einspurig		Ing. Bür	G+P, BE
	Richtung	Nord		Projekt-Nr.	A4054
	Streckenlänge	1080 [m]		Messequipe	eh, dfl
	Teststrecke	140 [m]		Verantwortlich	E. Bühlmann
	Messart	CPX			

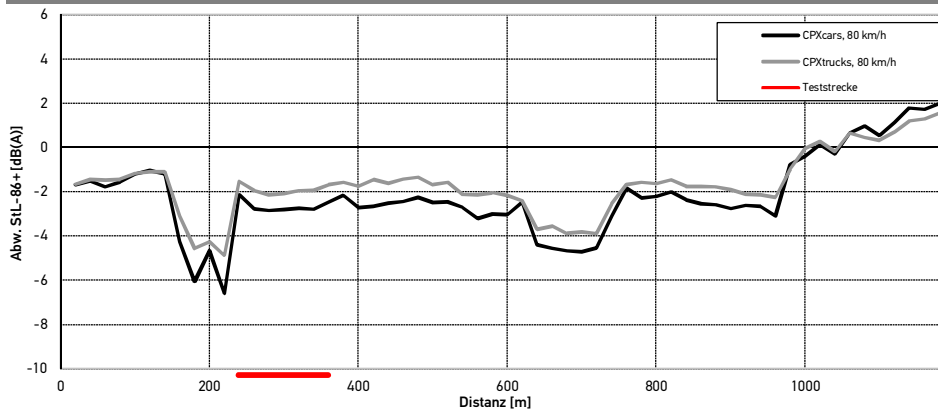
MESSUNGEN

Messzeit	Datum	19.04.2016	Belag	Typ	MA8_2
	Messzeit	16:37 - 17:19		Einbaujahr	2015
Temperatur	Luft 1.5m	16.1 [°C]		Details	
	Belag	28.5 [°C]	Referenzgeschwindigkeit		80 [km/h]
	Reifen	28.8 [°C]	Messfahrten	Reif. A1	Reif. D1
Reifen	Reifen A1:	Uniroyal Tigerpaw SRTT	Anzahl	2	2
	Reifen D1:	Avon AV4	Messgeschw.	80.4	80.1 [km/h]
Bemerkung			Standartabw. V	0.9	1.1 [km/h]

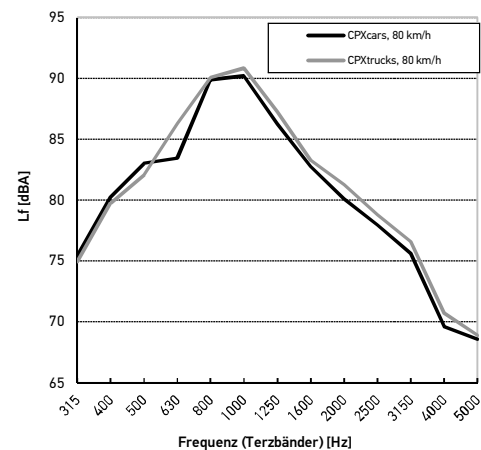
AUSWERTUNG

Geschwindigkeitskonstante b	30 (dicht), 35 (Beton), 25 (porös)	Temperaturkorrektur	-0.087 [dB(A)/°C]
Indexwerte	CPXcars = Lp (Reifen A1) CPXtrucks = Lp (Reifen D1)	Umrechnungsmodell CPX zu StL-86+:	
		basiert auf 67 CPX-SPB-Wertepaaren	
		Erstelldatum:	9.2011

RESULTATE STL-86+



RESULTATE TESTSTRECKE: FREQUENZANALYSE UND MITTELWERTE



Mittelwerte Teststrecke [dBA]

	Lp	Lp TK	StL-86+ TK
Cars, N1	95.7	95.4	-2.7
stand. dev	0.2	-	-
Trucks, N2	96.3	96.0	-1.9
stand. dev	0.1	-	-

TK = temperaturkorrigiert

BELAGSMESSPROTOKOLL CPX
GANZE FAHRSPUR

(Close Proximity - Messung)

19.04.2016

IDENTIFIKATION

Ort	Ort	Kerzers/Viadukt 80km/h	Projekt	Auftraggeber	ASTRA
Strasse	Strassenbez.	Einspurig		Ing. Bür	G+P, BE
	Richtung	Nord		Projekt-Nr.	A4054
	Streckenlänge	1080 [m]		Messequipe	eh, dfl
	Teststrecke	120 [m]		Verantwortlich	E. Bühlmann
	Messart	CPX			

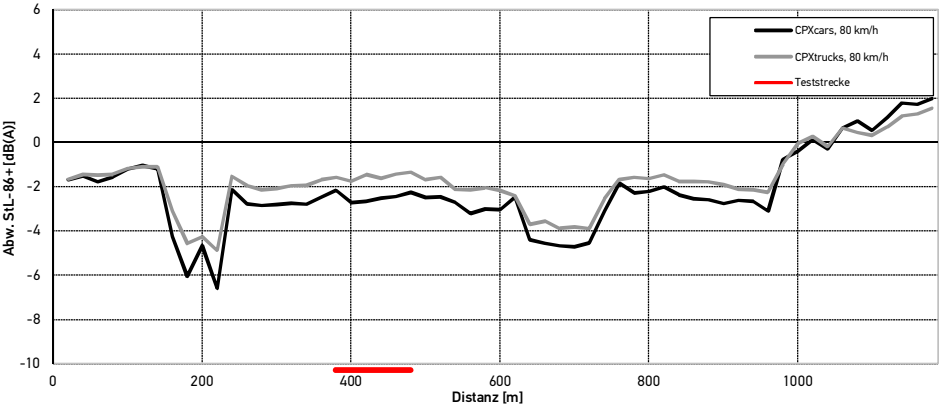
MESSUNGEN

Messzeit	Datum	19.04.2016	Belag	Typ	MA8_3
	Messzeit	16:37 - 17:19		Einbaujahr	2015
Temperatur	Luft 1.5m	16.1 [°C]		Details	
	Belag	28.5 [°C]	Referenzgeschwindigkeit		80 [km/h]
	Reifen	28.8 [°C]	Messfahrten	Reif. A1	Reif. D1
Reifen	Reifen A1:	Uniroyal Tigerpaw SRTT	Anzahl	2	2
	Reifen D1:	Avon AV4	Messgeschw.	80.4	80.1 [km/h]
Bemerkung			Standartabw. V	0.9	1.1 [km/h]

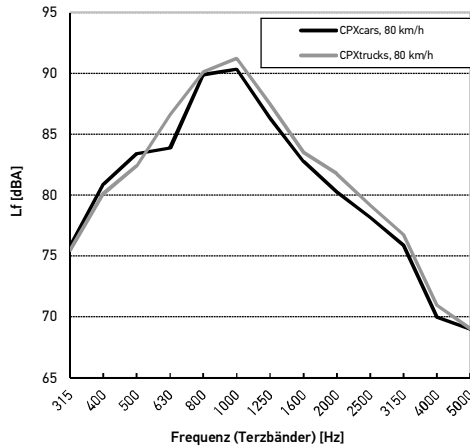
AUSWERTUNG

Geschwindigkeitskonstante b	30 (dicht), 35 (Beton), 25 (porös)	Temperaturkorrektur	-0.086 [dB(A)/°C]
Indexwerte	CPXcars = Lp (Reifen A1) CPXtrucks = Lp (Reifen D1)	Umrechnungsmodell CPX zu StL-86+:	
		basiert auf 67 CPX-SPB-Wertepaaren	
		Erstelldatum:	9.2011

RESULTATE STL-86+



RESULTATE TESTSTRECKE: FREQUENZANALYSE UND MITTELWERTE



Mittelwerte Teststrecke [dBA]

	Lp	Lp TK	StL-86+ TK
Cars, N1	95.8	95.5	-2.5
stand. dev	0.1	-	-
Trucks, N2	96.6	96.3	-1.5
stand. dev	0.1	-	-

TK = temperaturkorrigiert

BELAGSMESSPROTOKOLL CPX GANZE FAHRSPUR

(Close Proximity - Messung)

19.04.2016

IDENTIFIKATION

Ort	Ort	Kerzers/Viadukt 80km/h	Projekt	Auftraggeber	ASTRA
Strasse	Strassenbez.	Einspurig		Ing. Bür	G+P, BE
	Richtung	Nord		Projekt-Nr.	A4054
	Streckenlänge	1080 [m]		Messequipe	eh, dfl
	Teststrecke	120 [m]		Verantwortlich	E. Bühlmann
	Messart	CPX			

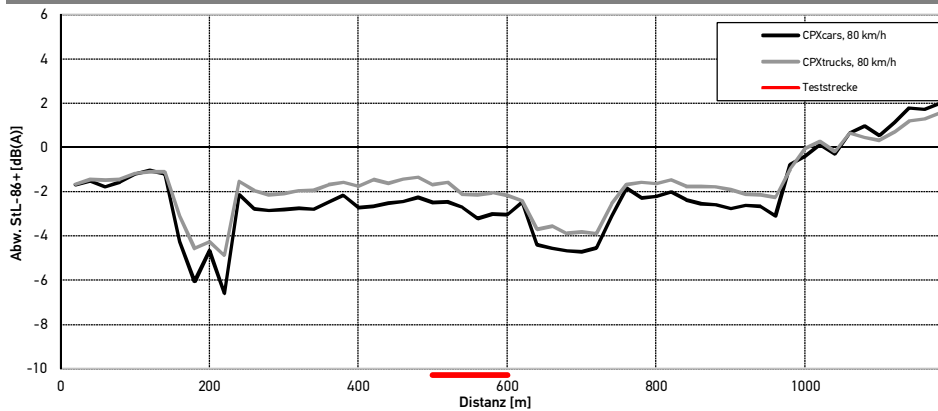
MESSUNGEN

Messzeit	Datum	19.04.2016	Belag	Typ	MA8_4
	Messzeit	16:37 - 17:19		Einbaujahr	2015
Temperatur	Luft 1.5m	16.1 [°C]		Details	
	Belag	28.5 [°C]	Referenzgeschwindigkeit		80 [km/h]
	Reifen	28.8 [°C]	Messfahrten	Reif. A1	Reif. D1
Reifen	Reifen A1:	Uniroyal Tigerpaw SRTT	Anzahl	2	2
	Reifen D1:	Avon AV4	Messgeschw.	80.4	80.1 [km/h]
Bemerkung			Standartabw. V	0.9	1.1 [km/h]

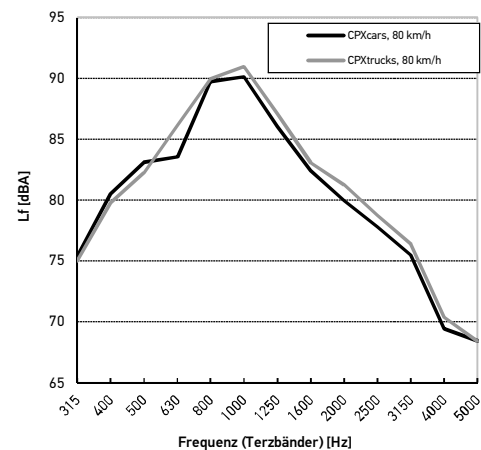
AUSWERTUNG

Geschwindigkeitskonstante b	30 (dicht), 35 (Beton), 25 (porös)	Temperaturkorrektur	-0.086 [dB(A)/°C]
Indexwerte	CPXcars = Lp (Reifen A1) CPXtrucks = Lp (Reifen D1)	Umrechnungsmodell CPX zu StL-86+:	
		basiert auf 67 CPX-SPB-Wertepaaren	
		Erstelldatum:	9.2011

RESULTATE STL-86+



RESULTATE TESTSTRECKE: FREQUENZANALYSE UND MITTELWERTE



Mittelwerte Teststrecke [dBA]

	Lp	Lp TK	StL-86+ TK
Cars, N1	95.6	95.3	-2.8
stand. dev	0.2	-	-
Trucks, N2	96.3	95.9	-2.0
stand. dev	0.2	-	-

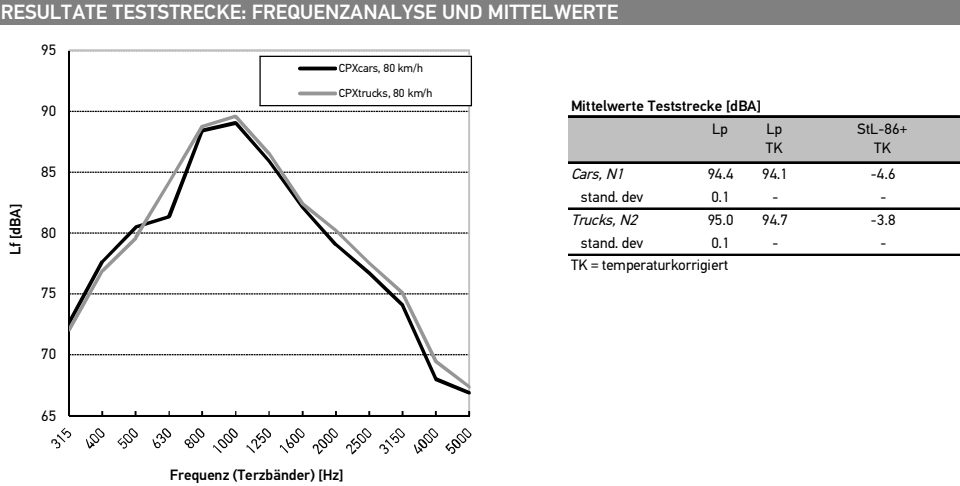
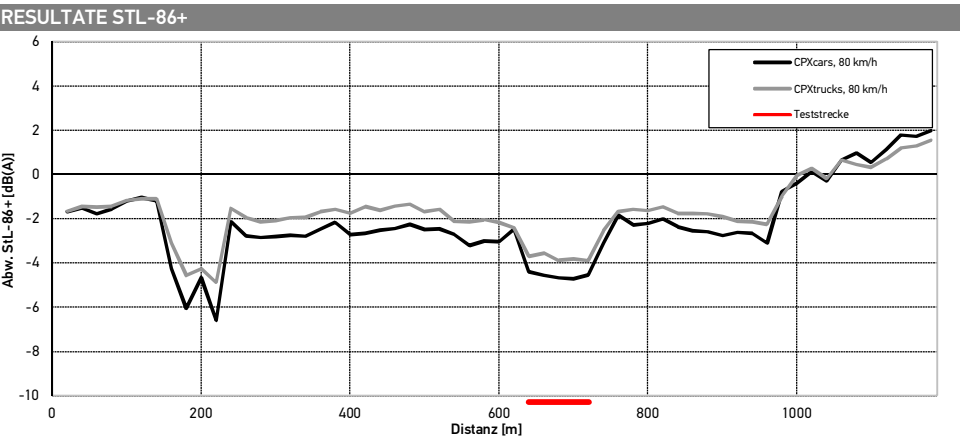
TK = temperaturkorrigiert

BELAGSMESSPROTOKOLL CPX (Close Proximity - Messung) **19.04.2016**
GANZE FAHRSPUR

IDENTIFIKATION					
Ort	Ort	Kerzers/Viadukt 80km/h	Projekt	Auftraggeber	ASTRA
Strasse	Strassenbez.	Einspurig		Ing. Bür	G+P, BE
	Richtung	Nord		Projekt-Nr.	A4054
	Streckenlänge	1080 [m]		Messequipe	eh, dfl
	Teststrecke	100 [m]		Verantwortlich	E. Bühlmann
	Messart	CPX			

MESSUNGEN					
Messzeit	Datum	19.04.2016	Belag	Typ	MA8_5
	Messzeit	16:37 - 17:19		Einbaujahr	2015
Temperatur	Luft 1.5m	16.1 [°C]	Referenzgeschwindigkeit	Details	
	Belag	28.5 [°C]		80 [km/h]	
	Reifen	28.8 [°C]			
Reifen	Reifen A1:	Uniroyal Tigerpaw SRTT	Messfahrten	Reif. A1	Reif. D1
	Reifen D1:	Avon AV4		Anzahl	2 2
Bemerkung				Messgeschw.	80.4 80.1 [km/h]
				Standartabw. V	0.9 1.1 [km/h]

AUSWERTUNG					
Geschwindigkeitskonstante b		30 (dicht), 35 (Beton), 25 (porös)	Temperaturkorrektur		-0.088 [dB(A)/°C]
Indexwerte	CPXcars	= Lp (Reifen A1)	Umrechnungsmodell CPX zu StL-86+: basiert auf 67 CPX-SPB-Wertepaaren		
	CPXtrucks	= Lp (Reifen D1)			
			Erstelldatum:	9.2011	



BELAGSMESSPROTOKOLL CPX GANZE FAHRSPUR

(Close Proximity - Messung)

19.04.2016

IDENTIFIKATION

Ort	Ort	Kerzers/Viadukt 80km/h	Projekt	Auftraggeber	ASTRA
Strasse	Strassenbez.	Einspurig		Ing. Bür	G+P, BE
	Richtung	Nord		Projekt-Nr.	A4054
	Streckenlänge	1080 [m]		Messequipe	eh, dfl
	Teststrecke	120 [m]		Verantwortlich	E. Bühlmann
	Messart	CPX			

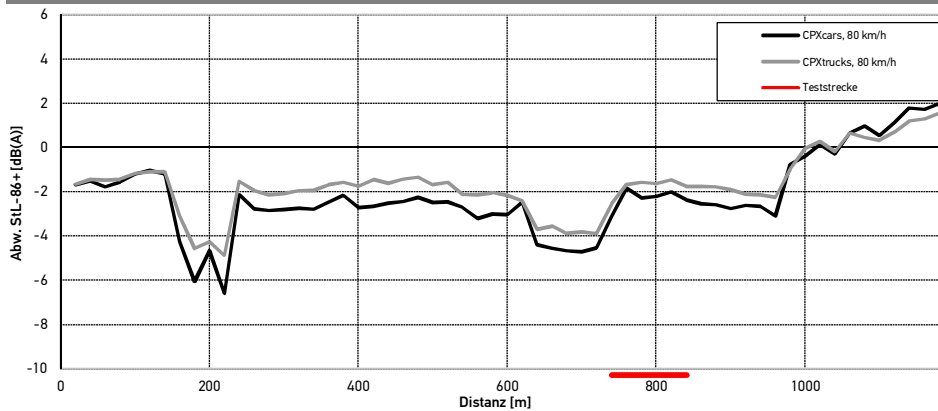
MESSUNGEN

Messzeit	Datum	19.04.2016	Belag	Typ	MA8_6
	Messzeit	16:37 - 17:19		Einbaujahr	2015
Temperatur	Luft 1.5m	16.1 [°C]		Details	
	Belag	28.5 [°C]	Referenzgeschwindigkeit		80 [km/h]
	Reifen	28.8 [°C]	Messfahrten	Reif. A1	Reif. D1
Reifen	Reifen A1:	Uniroyal Tigerpaw SRTT	Anzahl	2	2
	Reifen D1:	Avon AV4	Messgeschw.	80.4	80.1 [km/h]
Bemerkung			Standartabw. V	0.9	1.1 [km/h]

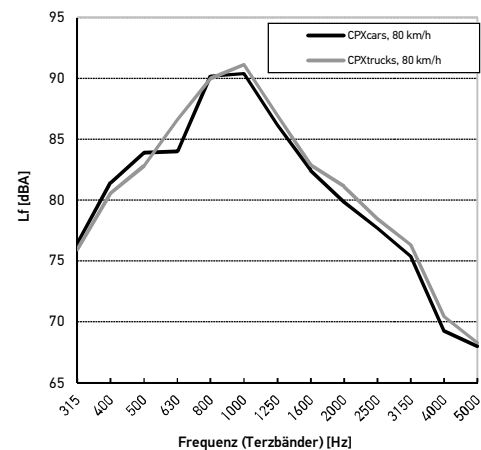
AUSWERTUNG

Geschwindigkeitskonstante b	30 (dicht), 35 (Beton), 25 (porös)	Temperaturkorrektur	-0.084 [dB(A)/°C]
Indexwerte	CPXcars = Lp (Reifen A1) CPXtrucks = Lp (Reifen D1)	Umrechnungsmodell CPX zu StL-86+:	
		basiert auf 67 CPX-SPB-Wertepaaren	
		Erstelldatum:	9.2011

RESULTATE STL-86+



RESULTATE TESTSTRECKE: FREQUENZANALYSE UND MITTELWERTE



Mittelwerte Teststrecke [dBA]

	Lp	Lp TK	StL-86+ TK
Cars, N1	95.9	95.6	-2.3
stand. dev	0.3	-	-
Trucks, N2	96.4	96.1	-1.8
stand. dev	0.3	-	-

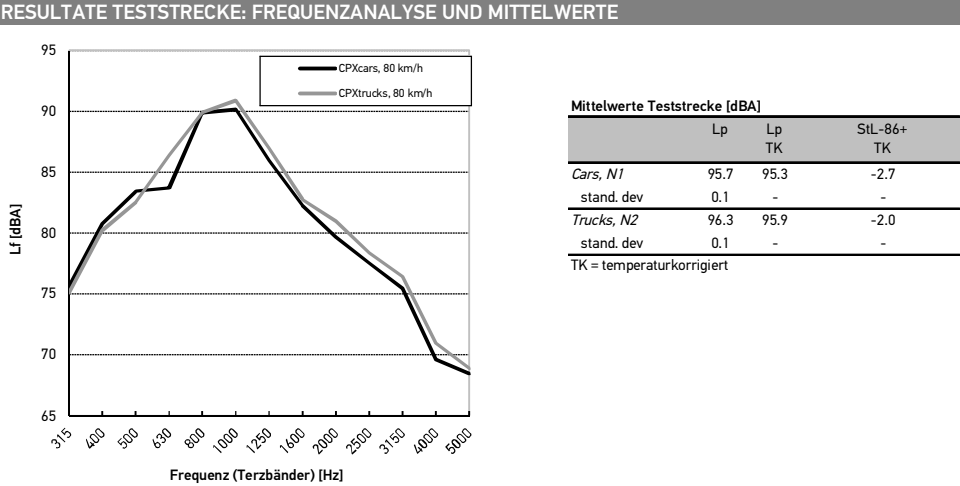
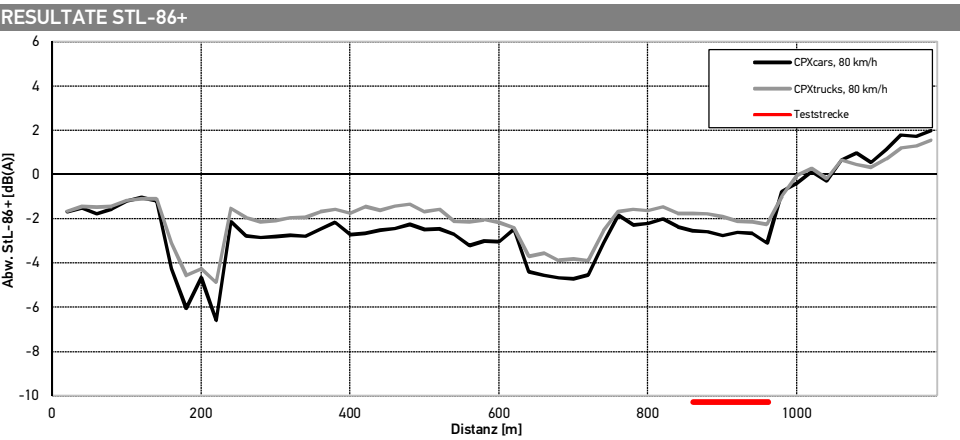
TK = temperaturkorrigiert

BELAGSMESSPROTOKOLL CPX (Close Proximity - Messung) **19.04.2016**
GANZE FAHRSPUR

IDENTIFIKATION					
Ort	Ort	Kerzers/Viadukt 80km/h	Projekt	Auftraggeber	ASTRA
Strasse	Strassenbez.	Einspurig		Ing. Bür	G+P, BE
	Richtung	Nord		Projekt-Nr.	A4054
	Streckenlänge	1080 [m]		Messequipe	eh, dfl
	Teststrecke	120 [m]		Verantwortlich	E. Bühlmann
	Messart	CPX			

MESSUNGEN					
Messzeit	Datum	19.04.2016	Belag	Typ	MA8_7
	Messzeit	16:37 - 17:19		Einbaujahr	2015
Temperatur	Luft 1.5m	16.1 [°C]	Referenzgeschwindigkeit	Details	
	Belag	28.5 [°C]		80 [km/h]	
	Reifen	28.8 [°C]	Messfahrten	Reif. A1	Reif. D1
Reifen	Reifen A1:	Uniroyal Tigerpaw SRTT	Anzahl	2	2
	Reifen D1:	Avon AV4	Messgeschw.	80.4	80.1 [km/h]
Bemerkung			Standartabw. V	0.9	1.1 [km/h]

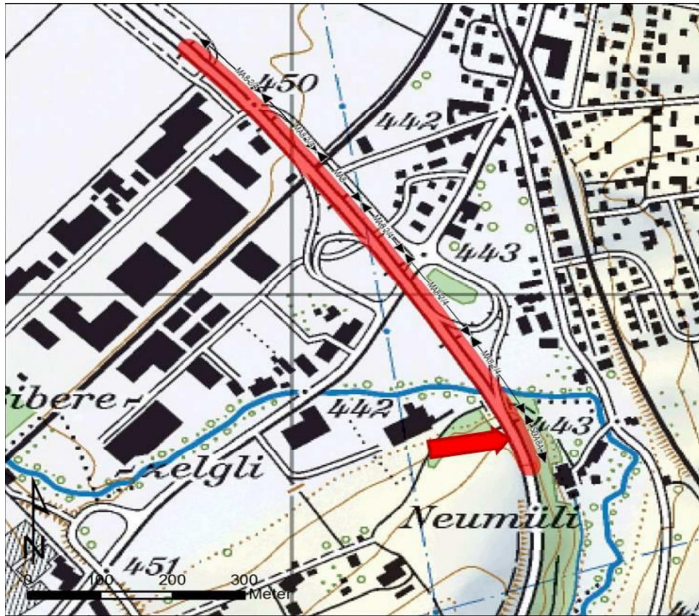
AUSWERTUNG					
Geschwindigkeitskonstante b		30 (dicht), 35 (Beton), 25 (porös)	Temperaturkorrektur		-0.086 [dB(A)/°C]
Indexwerte	CPXcars	= Lp (Reifen A1)	Umrechnungsmodell CPX zu StL-86+: basiert auf 67 CPX-SPB-Wertepaaren Erstelldatum: 9.2011		
	CPXtrucks	= Lp (Reifen D1)			



8 FAKTENBLÄTTER

Kerzers, Autobahnviadukt: SDA 8A (Radspur)

Belagsakustische Wirkungsanalysen 1 Jahr nach Einbau



Teststrecke

Einbaudatum: 05.06.2015

Länge: 70 m

Steigung: n.a.

Durchschn. tägl. Verkehr

DTV SN 640 005a: n.a.

Anteil LKW (tags): n.a.

Geschwindigkeit: 80 km/h

Analysequerschnitt

Koordinaten: X = 201777

Y = 581316

Beschreibung Lage:

Koordinaten:

Y: 581316 / X: 201772

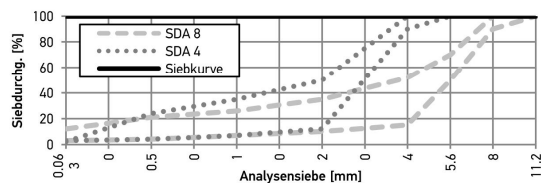
Informationen zum Belag

Belagstyp SDA 8A

Mischgutuntersuchung

Hohlraum (Marshall) MW: n.a.

löslicher Bindemittelanteil: n.a.



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke

n.a.

Teststrecke

n.a.

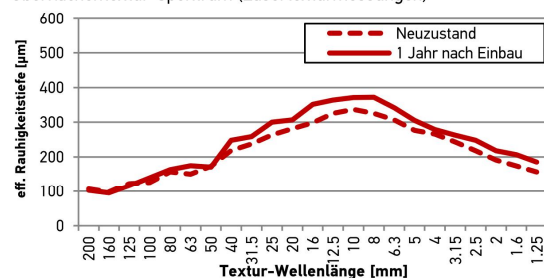
Hohlraumgehalt

n.a.

Verdichtungsgrad

n.a.

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)



Oberflächentextur

MPD 0.92 mm (Neuzustand: 0.85 mm)

Rautiefe (ETD) 0.94 mm (Neuzustand: 0.88 mm)

Gestaltfaktor (g) 89 % (Neuzustand: 88.6 %)

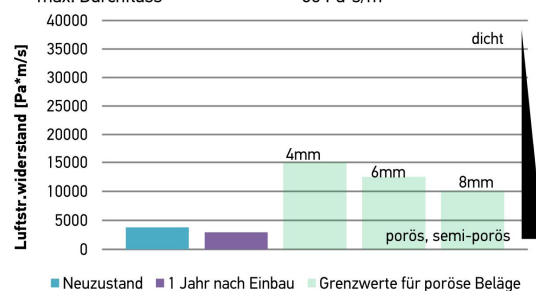
A_{max} : 372 µm (Neuzustand: 337 µm)

$\lambda (A_{max})$: 8 mm (Neuzustand: 10 mm)

Luftströmungswiderstand

Luftströmungswiderst: 2949 Pa*s/m
(Neuzustand: 3755 Pa*s/m)

max. Durchfluss 35 Pa*s/m

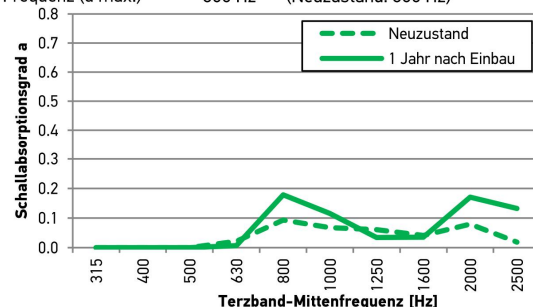


Schallabsorptionsmessungen

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)

α_{max} : 0.18 (Neuzustand: 0.09)

Frequenz (α_{max}): 800 Hz (Neuzustand: 800 Hz)



Kerzers, Autobahnviadukt: SDA 8A (Radspur)

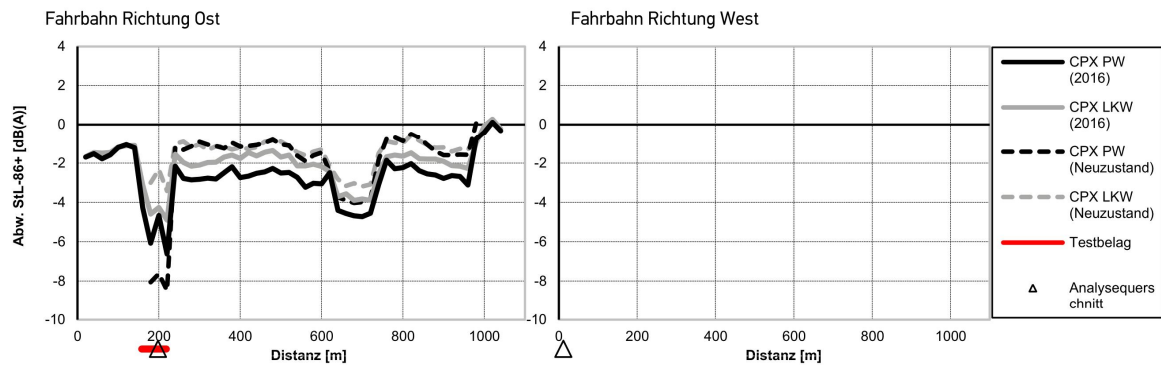
Belagsakustische Wirkungsanalysen
1 Jahr nach Einbau

Testbelag

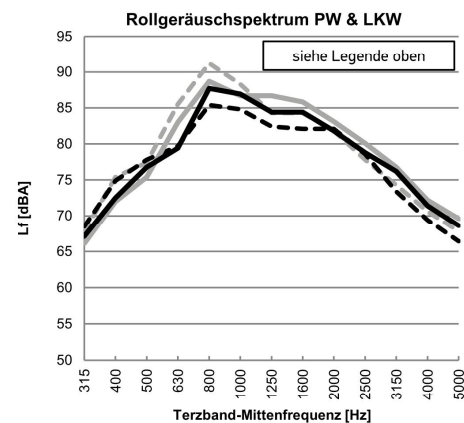
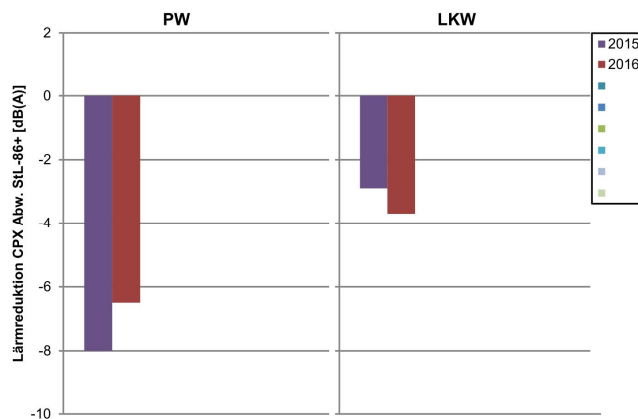
Rollgeräuschmessungen CPX

Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -5.4 dB(A)
MW (CPXP): 93.6 dB(A)
Std.Abw.: 0.7 dB(A)

Schwere Fz. LKW: MW (Abw. StL86+): -4.2 dB(A)
MW (CPXH): 94.3 dB(A)
Std.Abw.: 0.6 dB(A)



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtsmessung (SPB)

PW: n.a.
n.a.
LKW: n.a.
n.a.

Rollgeräuschmessungen CPX

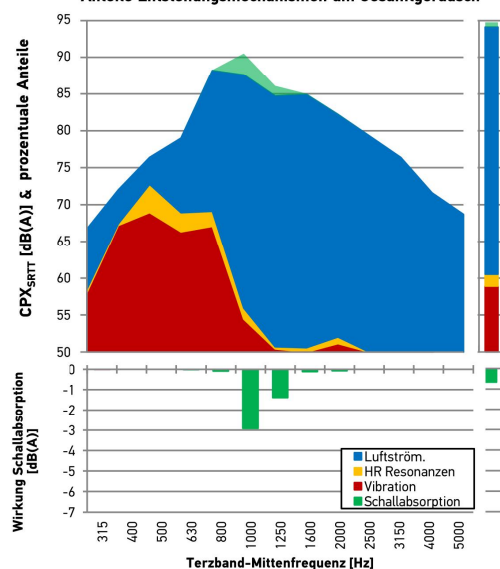
PW: -4.7 dB(A) Abw. StL86+
94.1 dB(A) CPXP
LKW: -4.3 dB(A) Abw. StL86+
94.3 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

Anteile Lärmenstehungsarten am Gesamtgeräusch
- Luftströmungsschall: 76.2%
- Vibrationsschall: 20.2%
- Hohlraumresonanzen: 3.6%

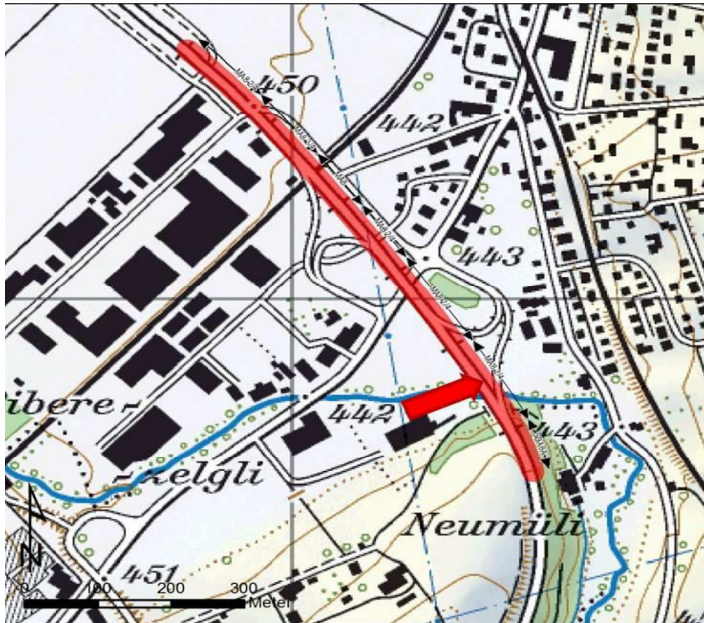
Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)
- max.: 2.9 dB(A)
- Frequenz: 1000 Hz
- Wirkung Total: 0.7 dB(A)

Anteile Entstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



Kerzers, Autobahnviadukt: MA 8 H 2/4 Alox mit Walzen (Radspur)

Belagsakustische Wirkungsanalysen 1 Jahr nach Einbau



Teststrecke

Einbaudatum: 05.06.2015

Länge: 140 m

Steigung: n.a.

Durchschn. tägl. Verkehr

DTV SN 640 005a: n.a.

Anteil LKW (tags): n.a.

Geschwindigkeit: 80 km/h

Analysequerschnitt

Koordinaten: X = 201865
Y = 581269

Beschreibung Lage:

Koordinaten:

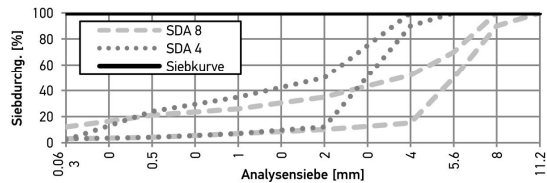
Y: 581266 / X: 201857

Informationen zum Belag

Belagstyp MA 8 H 2/4 Alox mit Walzen

Mischgutuntersuchung

Hohlraum (Marshal) MW: n.a.
löslicher Bindemittelanteil: n.a.



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke

n.a.

Teststrecke

n.a.

Hohlraumgehalt

n.a.

n.a.

Verdichtungsgrad

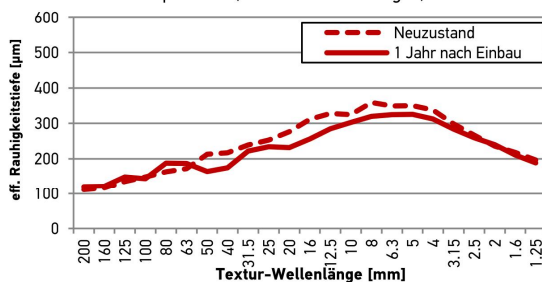
n.a.

n.a.

n.a.

n.a.

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)



Oberflächentextur

MPD 1.72 mm (Neuzustand: 1.89 mm)

Rautiefe (ETD) 1.57 mm (Neuzustand: 1.71 mm)

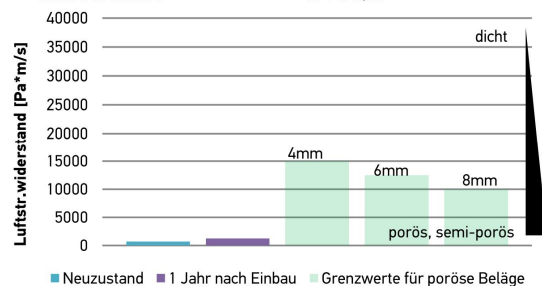
Gestaltfaktor (g) 50.6 % (Neuzustand: 51.2 %)

A_{max} : 326 µm (Neuzustand: 359 µm)

$\lambda (A_{max})$: 5 mm (Neuzustand: 8 mm)

Luftströmungswiderstand

Luftströmungswiderstand: 1216 Pa*s/m
(Neuzustand: 665 Pa*s/m)
max. Durchfluss 35 Pa*s/m

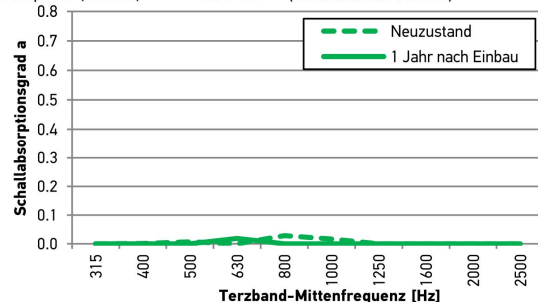


Schallabsorptionsmessungen

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)

α_{max} : 0.02 (Neuzustand: 0.03)

Frequenz (α_{max}): 630 Hz (Neuzustand: 800 Hz)



Kerzers, Autobahnviadukt: MA 8 H 2/4 Alox mit Walzen
(Radspur)

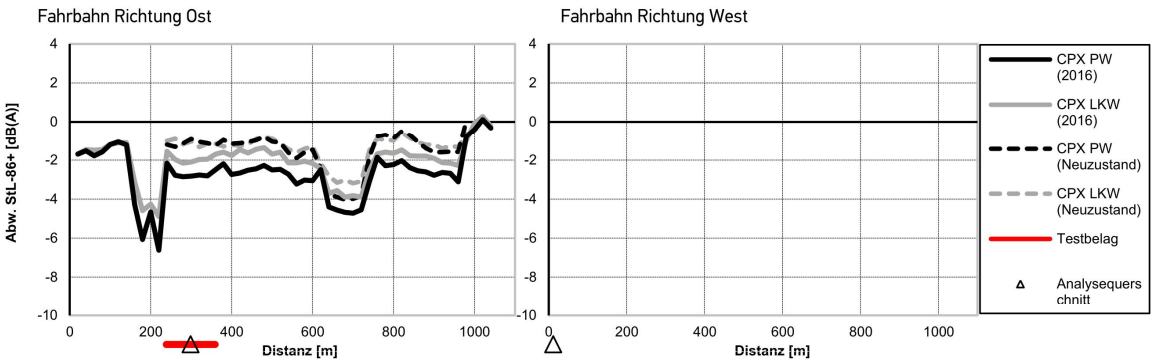
Belagsakustische Wirkungsanalysen
1 Jahr nach Einbau

Testbelag

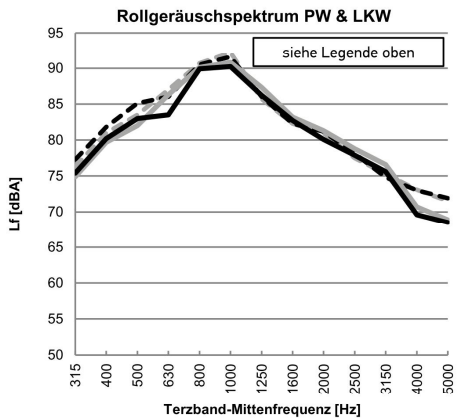
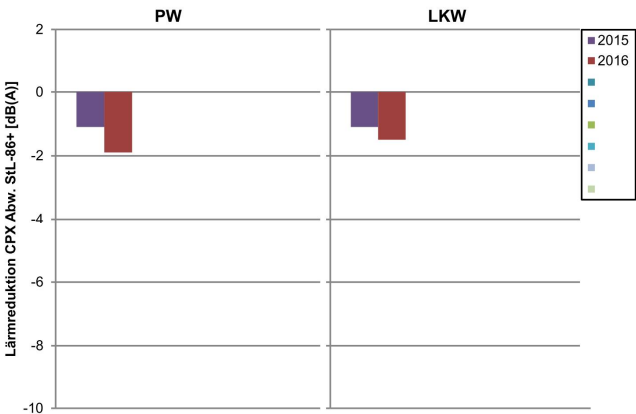
Rollgeräuschmessungen CPX

Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -2.7 dB(A)
MW (CPXP): 95.4 dB(A)
Std.Abw.: 0.2 dB(A)

Schwere Fz. LKW: MW (Abw. StL86+): -1.9 dB(A)
MW (CPXH): 96 dB(A)
Std.Abw.: 0.2 dB(A)



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtsmessung (SPB)

PW: n.a.
n.a.
LKW: n.a.
n.a.

Rollgeräuschmessungen CPX

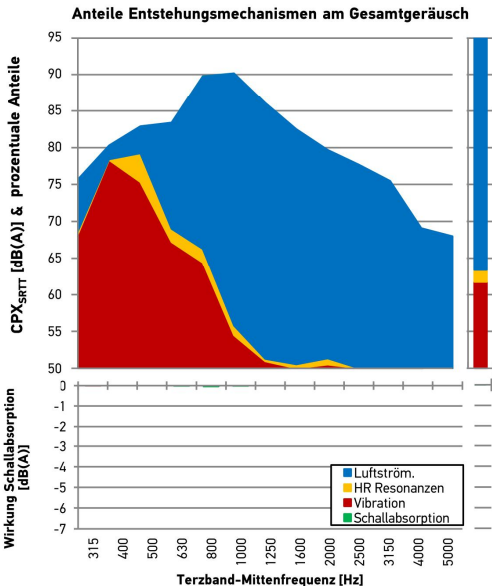
PW: -2.8 dB(A) Abw. StL86+
95.3 dB(A) CPXP
LKW: -2.1 dB(A) Abw. StL86+
95.9 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

Anteile Lärmentstehungsarten am Gesamtgeräusch
- Luftströmungsschall: 70.5%
- Vibrationsschall: 25.8%
- Hohlraumresonanzen: 3.7%

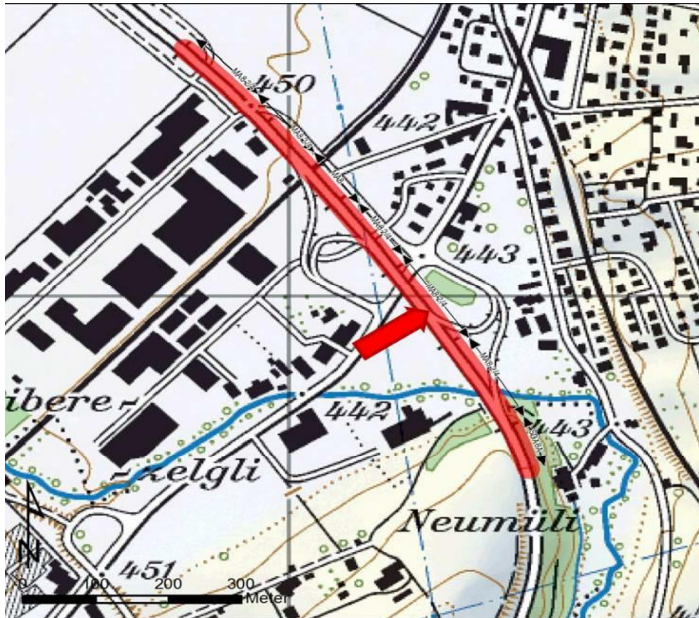
Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

- max.: 0 dB(A)
- Frequenz: 800 Hz
- Wirkung Total: 0 dB(A)



Kerzers, Autobahnviadukt: MA 8 H 2/4 Wyss mit Walzen (Radspur)

Belagsakustische Wirkungsanalysen 1 Jahr nach Einbau



Teststrecke

Einbaudatum: 05.06.2015

Länge: 140 m

Steigung: n.a.

Durchschn. tägl. Verkehr

DTV SN 640 005a: n.a.

Anteil LKW (tags): n.a.

Geschwindigkeit: 80 km/h

Analysequerschnitt

Koordinaten: X = 201948

Y = 581214

Beschreibung Lage:

Koordinaten:

Y: 581208 / X: 201952

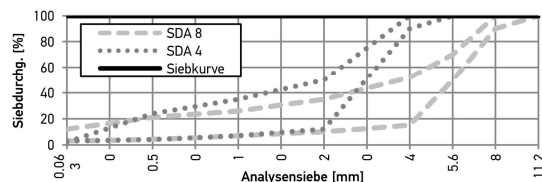
Informationen zum Belag

Belagstyp MA 8 H 2/4 Wyss mit Walzen

Mischgutuntersuchung

Hohlraum (Marshal) MW: n.a.

löslicher Bindemittelanteil: n.a.



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke

Analysequerschnitt

n.a.

Teststrecke

n.a.

Hohlraumgehalt

n.a.

n.a.

Verdichtungsgrad

n.a.

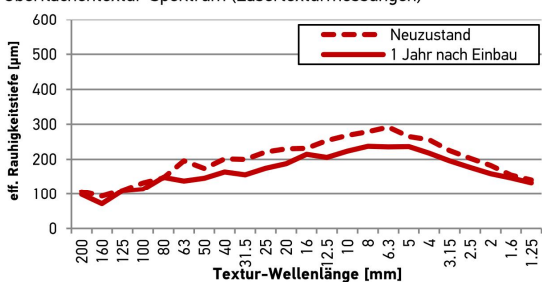
n.a.

n.a.

n.a.

n.a.

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)



Oberflächentextur

MPD

1.52 mm (Neuzustand: 1.8 mm)

Rautiefe (ETD)

1.41 mm (Neuzustand: 1.64 mm)

Gestaltfaktor (g)

44.4 % (Neuzustand: 43.7 %)

A_{max} :

237 µm (Neuzustand: 292 µm)

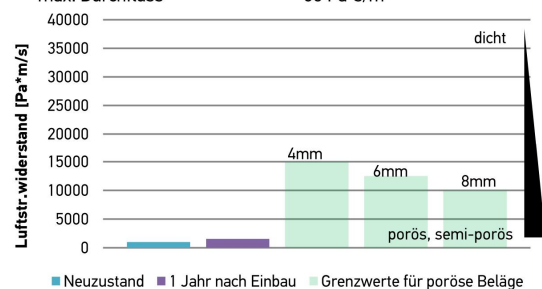
$\lambda (A_{max})$:

5 mm (Neuzustand: 6.3 mm)

Luftströmungswiderstand

Luftströmungswiderstand: 1544 Pa*s/m
(Neuzustand: 966 Pa*s/m)

max. Durchfluss 35 Pa*s/m

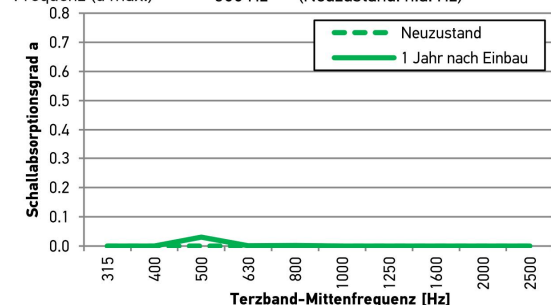


Schallabsorptionsmessungen

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)

α_{max} : 0.03 (Neuzustand: 0)

Frequenz (α_{max}): 500 Hz (Neuzustand: n.a. Hz)



Kerzers, Autobahnviadukt: MA 8 H 2/4 Wyss mit Walzen (Radspur)

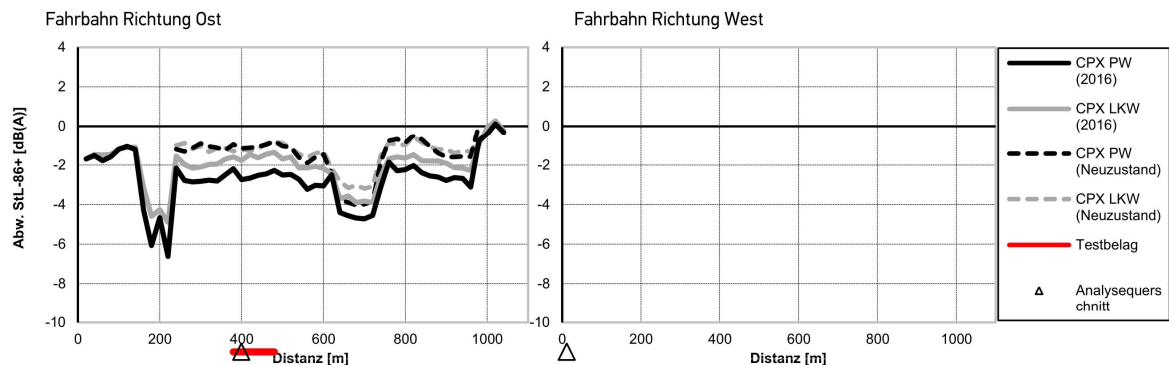
Belagsakustische Wirkungsanalysen
1 Jahr nach Einbau

Testbelag

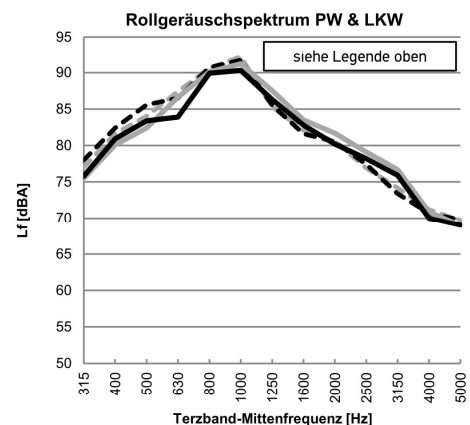
Rollgeräuschmessungen CPX

Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -2.5 dB(A)
MW (CPXP): 95.5 dB(A)
Std.Abw.: 0.1 dB(A)

Schwere Fz. LKW: MW (Abw. StL86+): -1.5 dB(A)
MW (CPXH): 96.3 dB(A)
Std.Abw.: 0.1 dB(A)



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtsmessung (SPB)

PW: n.a.
n.a.
LKW: n.a.
n.a.

Rollgeräuschmessungen CPX

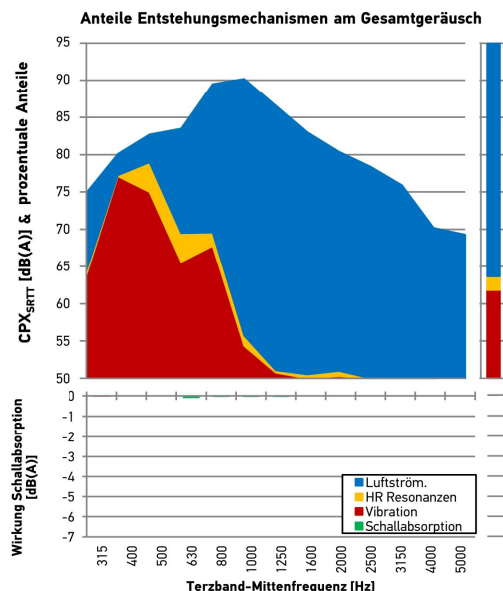
PW: -2.7 dB(A) Abw. StL86+
95.3 dB(A) CPXP
LKW: -1.8 dB(A) Abw. StL86+
96.1 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

Anteile Lärmenstehungsarten am Gesamtgeräusch
- Luftströmungsschall: 69.9%
- Vibrationsschall: 26.1%
- Hohlraumresonanzen: 4.0%

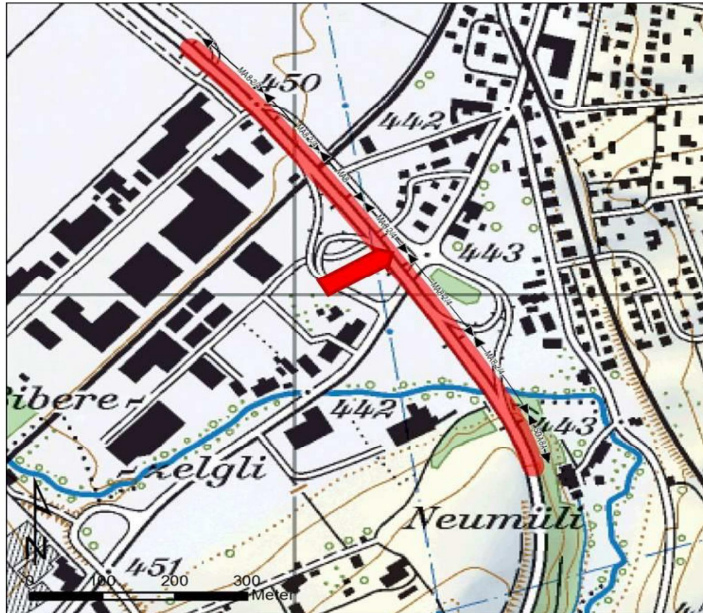
Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

- max.: 0.1 dB(A)
- Frequenz: 630 Hz
- Wirkung Total: 0 dB(A)



Kerzers, Autobahnviadukt: MA 8 H 2/4 Wyss ohne Walzen (Radspur)

Belagsakustische Wirkungsanalysen 1 Jahr nach Einbau



Teststrecke

Einbaudatum: 05.06.2015

Länge: 110 m

Steigung: n.a.

Durchschn. tägl. Verkehr

DTV SN 640 005a: n.a.

Anteil LKW (tags): n.a.

Geschwindigkeit: 80 km/h

Analysequerschnitt

Koordinaten: X = 202047

Y = 581145

Beschreibung Lage:

Koordinaten:

Y: 581138 / X: 202049

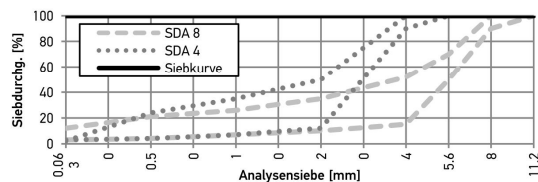
Informationen zum Belag

Belagstyp MA 8 H 2/4 Wyss ohne Walzen

Mischgutuntersuchung

Hohlraum (Marshal) MW: n.a.

löslicher Bindemittelanteil: n.a.



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke

n.a.

Teststrecke

n.a.

Hohlraumgehalt

n.a.

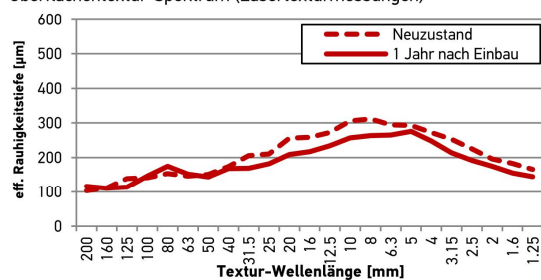
n.a.

Verdichtungsgrad

n.a.

n.a.

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)



Oberflächentextur

MPD 1.6 mm (Neuzustand: 1.82 mm)

Rautiefe (ETD) 1.48 mm (Neuzustand: 1.66 mm)

Gestaltfaktor (g) 42.5 % (Neuzustand: 45.9 %)

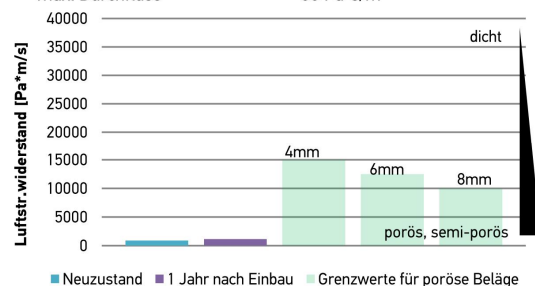
A_{max} : 276 µm (Neuzustand: 312 µm)

$\lambda (A_{max})$: 5 mm (Neuzustand: 8 mm)

Luftströmungswiderstand

Luftströmungswiderst: 1122 Pa*s/m
(Neuzustand: 877 Pa*s/m)

max. Durchfluss 35 Pa*s/m

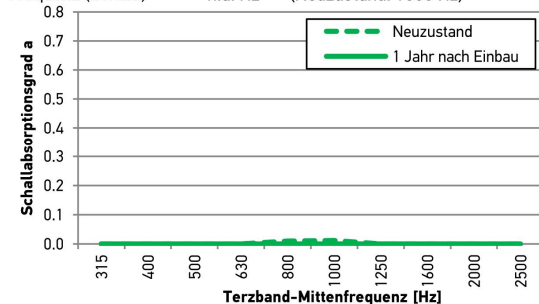


Schallabsorptionsmessungen

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)

α max: 0 (Neuzustand: 0.01)

Frequenz (α max.) n.a. Hz (Neuzustand: 1000 Hz)



Kerzers, Autobahnviadukt: MA 8 H 2/4 Wyss ohne Walzen (Radspur)

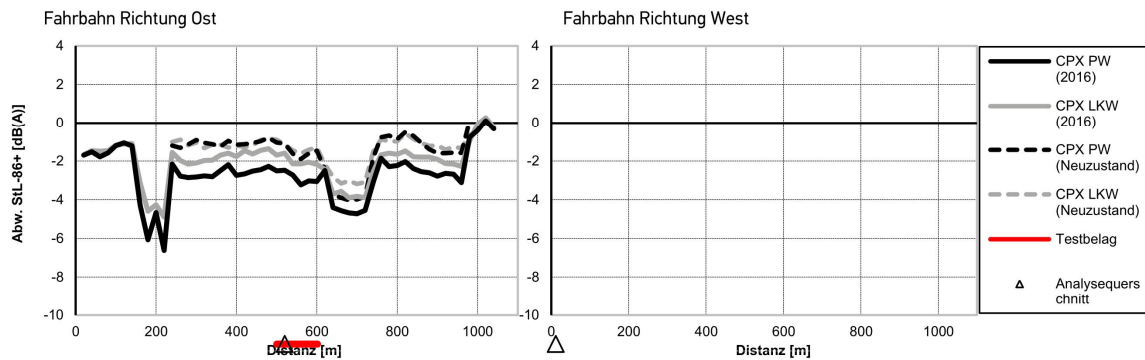
Belagsakustische Wirkungsanalysen
1 Jahr nach Einbau

Testbelag

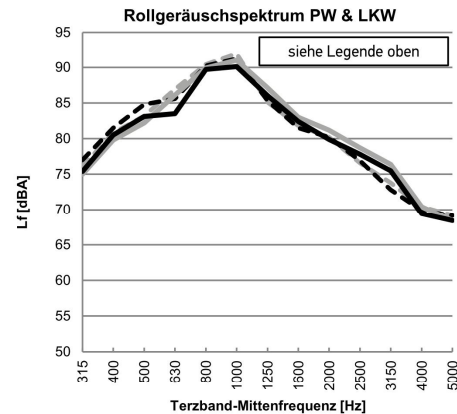
Rollgeräuschmessungen CPX

Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -2.8 dB(A)
MW (CPXP): 95.3 dB(A)
Std.Abw.: 0.2 dB(A)

Schwere Fz. LKW: MW (Abw. StL86+): -2 dB(A)
MW (CPXH): 95.9 dB(A)
Std.Abw.: 0.2 dB(A)



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtsmessung (SPB)

PW: n.a.
n.a.
LKW: n.a.
n.a.

Rollgeräuschmessungen CPX

PW: -2.5 dB(A) Abw. StL86+
95.5 dB(A) CPXP
LKW: -1.6 dB(A) Abw. StL86+
96.2 dB(A) CPXH

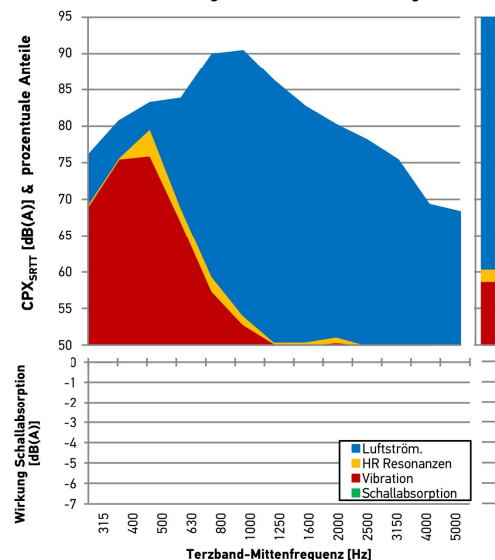
Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

Anteile Lärmenstehungsarten am Gesamtgeräusch
- Luftströmungsschall: 77.1%
- Vibrationsschall: 19.2%
- Hohlraumresonanzen: 3.7%

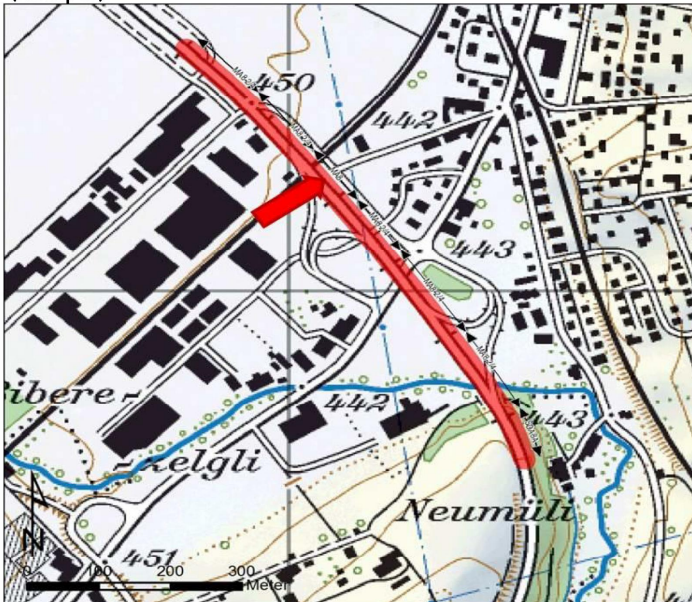
Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

- max.: 0 dB(A)
- Frequenz: n.a.
- Wirkung Total: -0.1 dB(A)

Anteile Entstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



**Kerzers, Autobahnviadukt: MA 8 H 1.4/2.8 Scoral mit Walzen
(Radspur)**



**Belagsakustische Wirkungsanalysen
1 Jahr nach Einbau**

Teststrecke
Einbaudatum: 05.06.2015
Länge: 100 m
Steigung: n.a.
Durchschn. tägl. Verkehr
DTV SN 640 005a: n.a.
Anteil LKW (tags): n.a.
Geschwindigkeit: 80 km/h

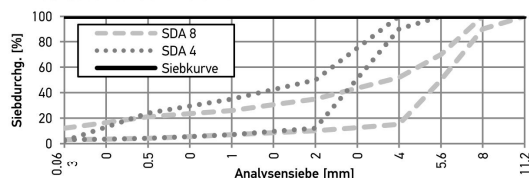
Analysequerschnitt 
Koordinaten: X = 202159
Y = 581062

Beschreibung Lage:
Koordinaten:
Y: 581065 / X: 202162

Informationen zum Belag
Belagstyp MA 8 H 1.4/2.8 Scoral mit Walzen

Mischgutuntersuchung

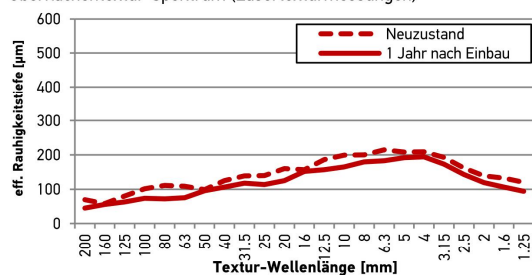
Hohlraum (Marshal) MW: n.a.
löslicher Bindemittelanteil: n.a.



Bohrkernuntersuchung

Bohrkernuntersuchung	Analysequerschnitt	Teststrecke
Schichtdicke	n.a.	n.a.
Hohlraumgehalt	n.a.	n.a.
Verdichtungsgrad	n.a.	n.a.

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)

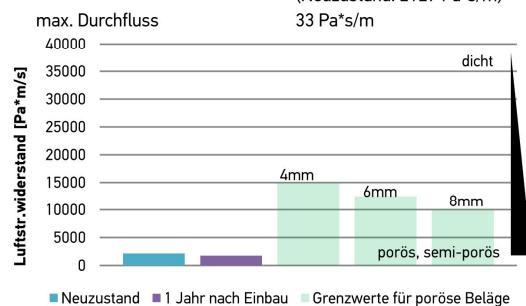


Oberflächentextur

MPD	1.35 mm (Neuzustand: 1.37 mm)
Rautiefe (ETD)	1.28 mm (Neuzustand: 1.3 mm)
Gestaltfaktor (g)	38.7 % (Neuzustand: 45.1 %)
A_{max}	194 µm (Neuzustand: 215 µm)
$\lambda (A_{max})$	4 mm (Neuzustand: 6.3 mm)

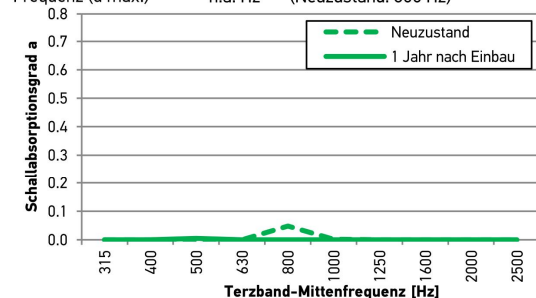
Luftströmungswiderstand

Luftströmungswiderst: 1732 Pa*s/m
(Neuzustand: 2127 Pa*s/m)
max. Durchfluss 33 Pa*s/m



Schallabsorptionsmessungen

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)
 α_{max} : 0 (Neuzustand: 0.05)
Frequenz (α_{max}): n.a. Hz (Neuzustand: 800 Hz)



Kerzers, Autobahnviadukt: MA 8 H 1.4/2.8 Scoral mit Walzen (Radspur)

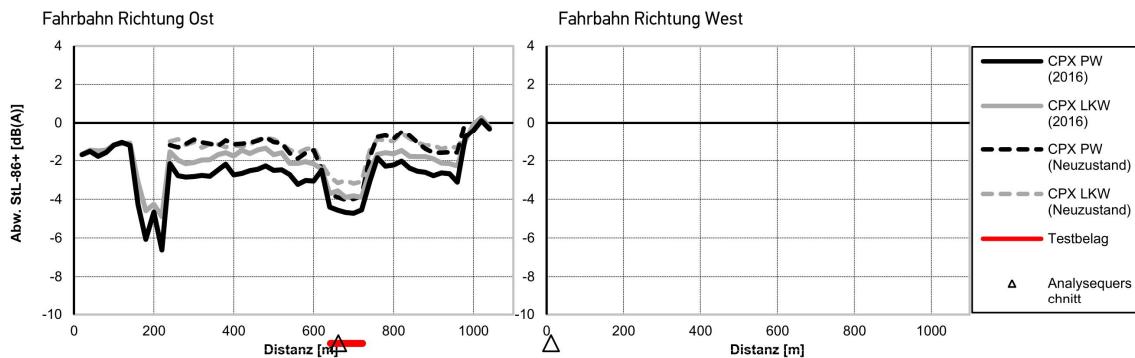
Belagsakustische Wirkungsanalysen
1 Jahr nach Einbau

Testbelag

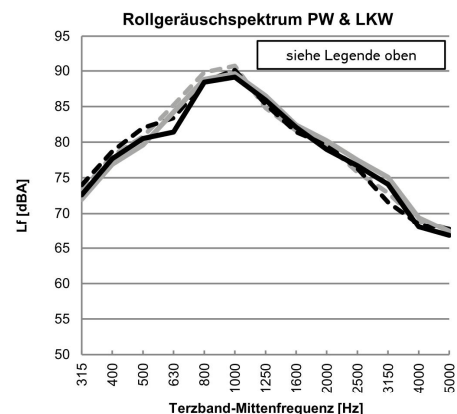
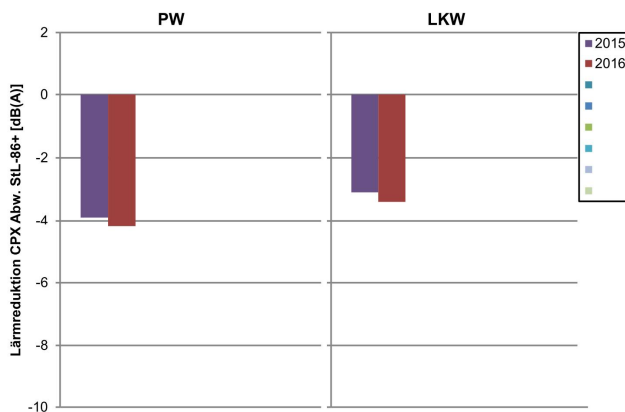
Rollgeräuschmessungen CPX

Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -4.6 dB(A)
MW (CPXP): 94.1 dB(A)
Std.Abw.: 0.1 dB(A)

Schwere Fz. LKW: MW (Abw. StL86+): -3.8 dB(A)
MW (CPXH): 94.7 dB(A)
Std.Abw.: 0.1 dB(A)



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtmessung (SPB)

PW: n.a.
n.a.
LKW: n.a.
n.a.

Rollgeräuschmessungen CPX

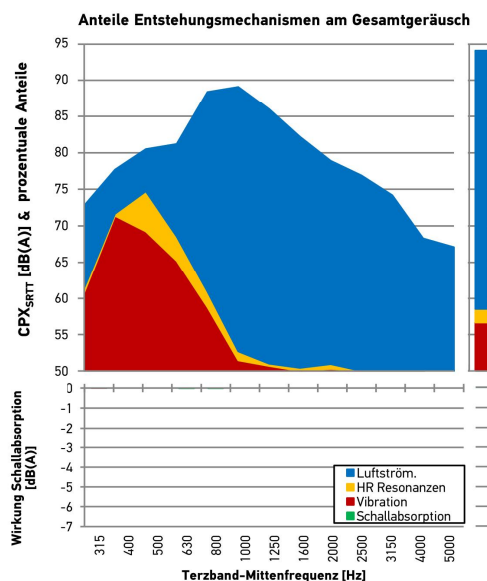
PW: -4.6 dB(A) Abw. StL86+
94.1 dB(A) CPXP
LKW: -3.6 dB(A) Abw. StL86+
94.8 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

Anteile Lärmenstehungsarten am Gesamtgeräusch
- Luftströmungsschall: 80.7%
- Vibrationschall: 15.1%
- Hohlraumresonanzen: 4.2%

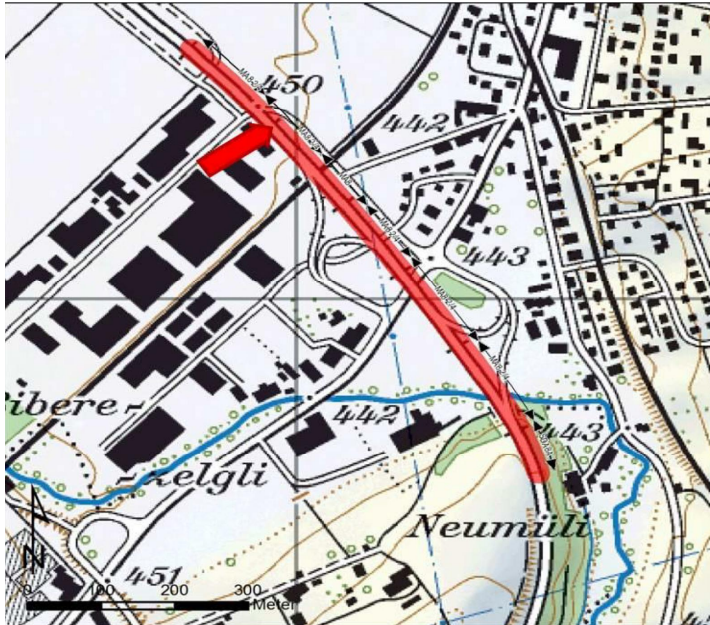
Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

- max.: 0 dB(A)
- Frequenz: 630 Hz
- Wirkung Total: 0 dB(A)



Kerzers, Autobahnviadukt: MA 8 H 2/4 Famsa mit Walzen (Radspur)

Belagsakustische Wirkungsanalyse 1 Jahr nach Einbau



Teststrecke

Einbaudatum: 05.06.2015

Länge: 120 m

Steigung: n.a.

Durchschn. tägl. Verkehr

DTV SN 640 005a: n.a.

Anteil LKW (tags): n.a.

Geschwindigkeit: 80 km/h

Analysequerschnitt

Koordinaten: X = 202253



Y = 580988

Beschreibung Lage:

Koordinaten:

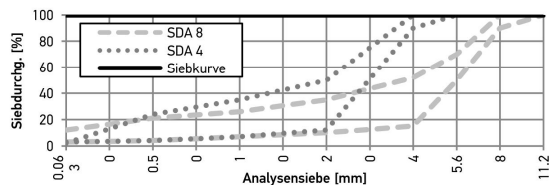
Y: 580982 / X: 202258

Informationen zum Belag

Belagstyp MA 8 H 2/4 Famsa mit Walzen

Mischgutuntersuchung

Hohlraum (Marshal) MW: n.a.
löslicher Bindemittelanteil: n.a.



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke

n.a.

Teststrecke

n.a.

Hohlraumgehalt

n.a.

n.a.

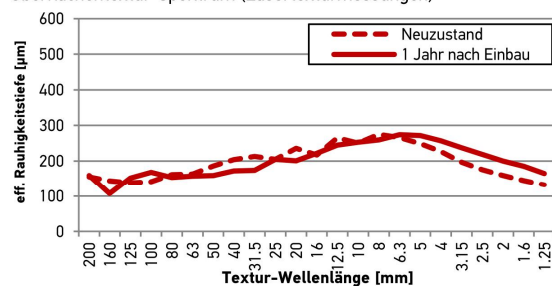
Verdichtungsgrad

n.a.

n.a.

n.a.

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)



Oberflächentextur

MPD 1.73 mm (Neuzustand: 1.8 mm)

Rautiefe (ETD) 1.59 mm (Neuzustand: 1.64 mm)

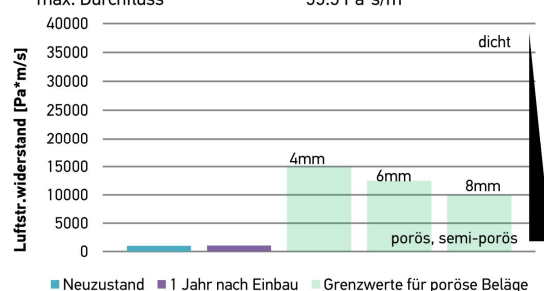
Gestaltfaktor (g) 42.4 % (Neuzustand: 41.9 %)

A_{max} : 274 µm (Neuzustand: 275 µm)

$\lambda (A_{max})$: 6.3 mm (Neuzustand: 8 mm)

Luftströmungswiderstand

Luftströmungswiderst: 1043 Pa*s/m
(Neuzustand: 963 Pa*s/m)
max. Durchfluss 33.5 Pa*s/m

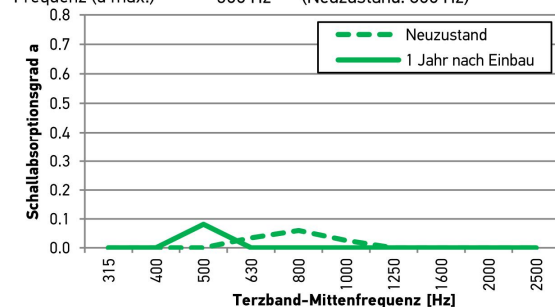


Schallabsorptionsmessungen

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)

α_{max} : 0.08 (Neuzustand: 0.06)

Frequenz (α_{max}): 500 Hz (Neuzustand: 800 Hz)



Kerzers, Autobahnviadukt: MA 8 H 2/4 Famsa mit Walzen (Radspur)

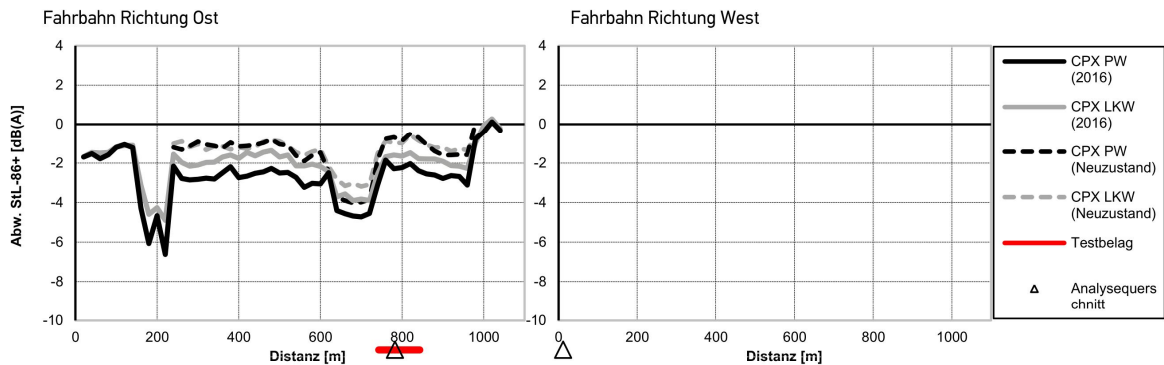
Belagsakustische Wirkungsanalysen
1 Jahr nach Einbau

Testbelag

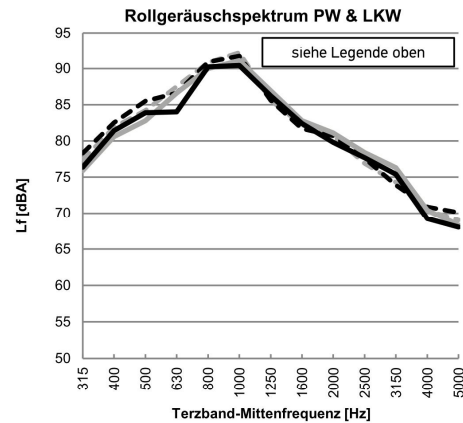
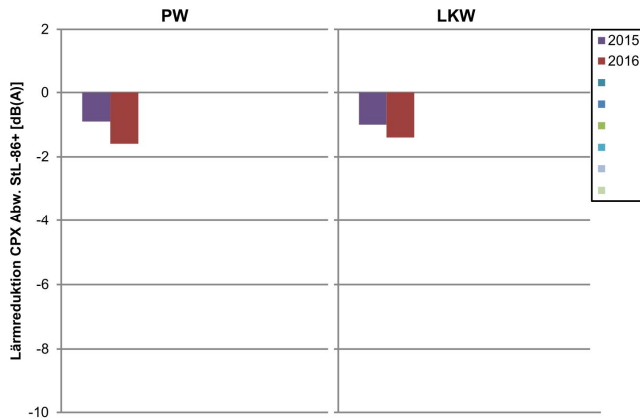
Rollgeräuschmessungen CPX

Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -2.3 dB(A)
MW (CPXP): 95.6 dB(A)
Std.Abw.: 0.3 dB(A)

Schwere Fz. LKW: MW (Abw. StL86+): -1.8 dB(A)
MW (CPXH): 96.1 dB(A)
Std.Abw.: 0.3 dB(A)



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtmessung (SPB)

PW: n.a.
n.a.
LKW: n.a.
n.a.

Rollgeräuschmessungen CPX

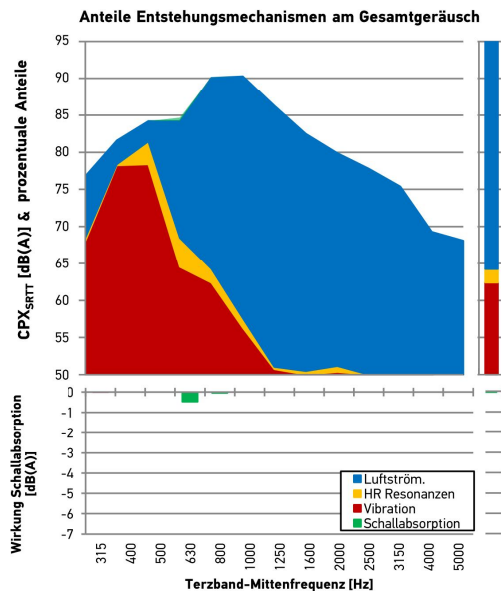
PW: -2.3 dB(A) Abw. StL86+
95.6 dB(A) CPXP
LKW: -1.6 dB(A) Abw. StL86+
96.2 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

Anteile Lärmenstehungsarten am Gesamtgeräusch
- Luftströmungsschall: 68.8%
- Vibrationschall: 27.2%
- Hohlraumresonanzen: 4.0%

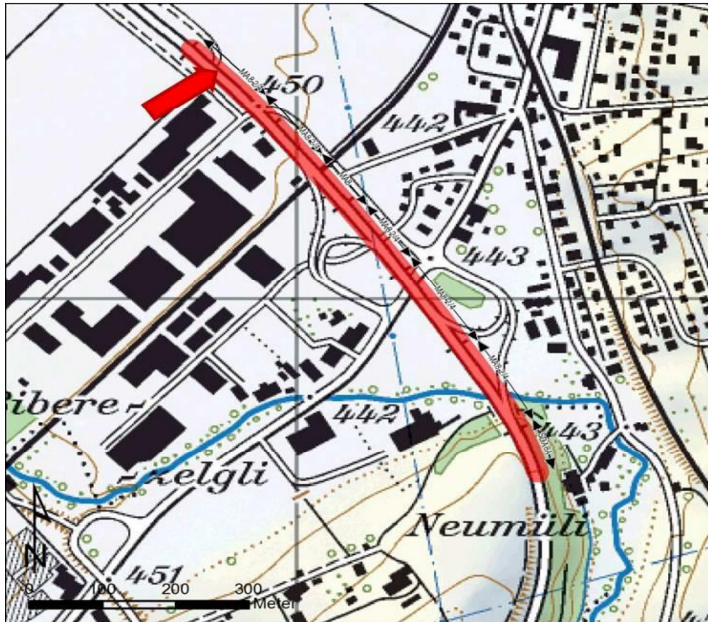
Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

- max.: 0.5 dB(A)
- Frequenz: 630 Hz
- Wirkung Total: 0 dB(A)



Kerzers, Autobahnviadukt: MA 8 H 2/4 Famsa ohne Walzen (Radspur)

Belagsakustische Wirkungsanalysen 1 Jahr nach Einbau



Teststrecke

Einbaudatum: 05.06.2015

Länge: 120 m

Steigung: n.a.

Durchschn. tägl. Verkehr

DTV SN 640 005a: n.a.

Anteil LKW (tags): n.a.

Geschwindigkeit: 80 km/h

Analysesequerschnitt

Koordinaten: X = 202343



Y = 580908

Beschreibung Lage:

Koordinaten:

Y: 580912 / X: 202339

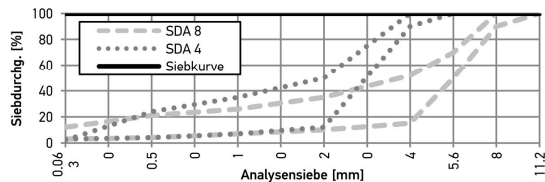
Informationen zum Belag

Belagstyp MA 8 H 2/4 Famsa ohn

Mischgutuntersuchung

Hohlraum (Marshal) MW: n.a.

löslicher Bindemittelanteil: n.a.



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke

n.a.

Teststrecke

n.a.

Hohlraumgehalt

n.a.

n.a.

Verdichtungsgrad

n.a.

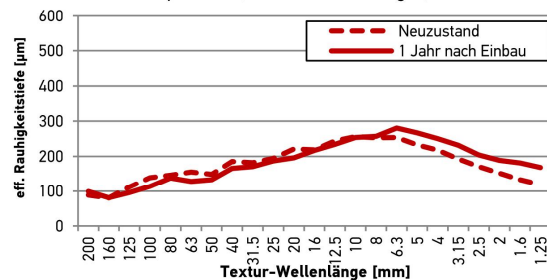
n.a.

n.a.

n.a.

n.a.

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)



Oberflächentextur

MPD 1.62 mm (Neuzustand: 1.66 mm)

Rautiefe (ETD) 1.49 mm (Neuzustand: 1.53 mm)

Gestaltfaktor (g) 39.2 % (Neuzustand: 35.4 %)

A_{max}: 281 µm (Neuzustand: 256 µm)

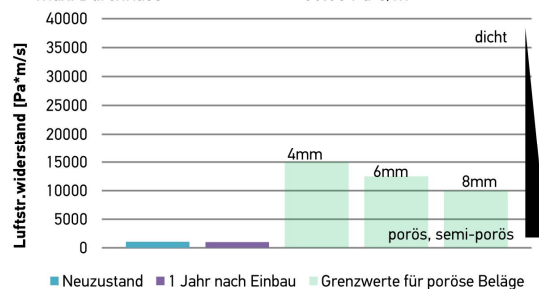
λ (A_{max}): 6.3 mm (Neuzustand: 10 mm)

Luftströmungswiderstand

Luftströmungswiderst: 992 Pa*s/m

(Neuzustand: 1007 Pa*s/m)

max. Durchfluss 35.33 Pa*s/m



Schallabsorptionsmessungen

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)

α max: 0.03 (Neuzustand: 0.01)

Frequenz (α max.) 500 Hz (Neuzustand: 800 Hz)

